

**AVANCES EN
ENERGIAS RENOVABLES
Y MEDIO AMBIENTE**

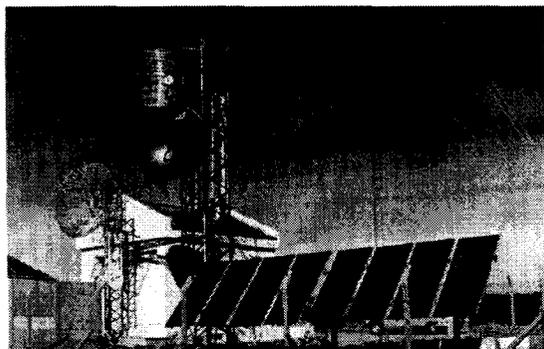
asasades

Volumen 2

N° 2, Año 1998

**Revista de la Asociación
Argentina de Energía Solar**

COMUNICACIONES



TELECOM ARGENTINA S.A.
Puerta de Arauco, La Rioja

SOLARTEC S. A.

licenciataria y distribuidora de

Siemens Solar Industries

Ha proyectado, construido, montado y puesto en servicio la mayor parte de los generadores instalados en la Argentina

Si Ud. necesita disponer de energía eléctrica solo nos deberá informar de:

- su consumo de energía
- la ubicación geográfica del lugar

y nosotros nos ocupamos del resto.

VIVIENDAS



9 DE JULIO
Buenos Aires

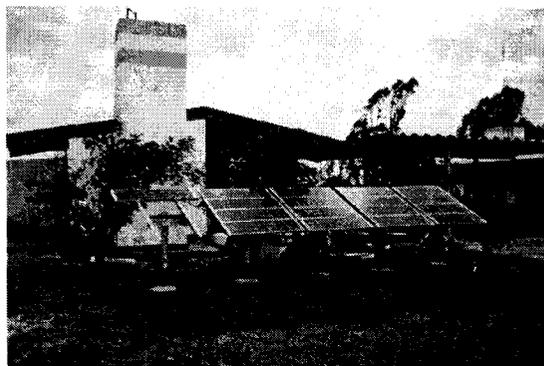


SOLARTEC S.A.
a Golden Genesis Company

GENERADORES ELECTRICOS SOLARES

ENERGIA ELECTRICA
DISPONIBLE
EN CUALQUIER LUGAR

ESCUELAS



ESCUELA No 1211
Gato Colorado - Santa Fe

TELECOMUNICACIONES
TELEMETRIA
BALIZAMIENTO
PROTECCION CATODICA
ESCUELAS Y VIVIENDAS RURALES
ILUMINACION
TELEVISION
COMPUTACION
BOMBEO DE AGUA

Licenciataria y distribuidora de
Siemens Solar Industries

Ingeniería y Ventas:

Méjico 2145 - (1640) Martínez, Pcia. Bs. As., Tel. (01) 836 1040, Fax: (01) 836-1381/0808

E-mail: solartec@solartec.com.ar

Atención al cliente: 0800-SOLAR (76527)

AVANCES EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE



Revista de la Asociación Argentina
de Energías Renovables y Ambiente

CONSEJO EDITORIAL (en formación)

Graciela Lesino *Salta*
Jaime Moragues *Buenos Aires*
Rubén Piacentino *Rosario*
Carlos de Rosa *Mendoza*
Luis Saravia *Salta*

COMISIÓN DE ARBITRAJE

Prof. Estela Alurralde
Dra. Leonor Carrillo
Sr. Ricardo Echazú
Dra. Judith Franco
Dr. Manfred Horn
Dr. Héctor Mattio
Ing. Gloria Plaza
Lic. Omar Viera

Lic. Ricardo Arizaga
Lic. Irene De Paul
Ing. Alfredo Esteves
Lic. Erico Frigerio
Lic. Adolfo Iriarte
Dr. Jaime Moragues
Lic. Jorge Pracchia
Ing. Vicente Volantino

Dr. Román Buitrago
Arq. Carlos de Rosa
Arq. Celina Filippín
Arq. Martha Fujol
Dr. Miguel A. Lara
Arq. Andrea Pattini
Dr. Luis R. Saravia
Arq. Eduardo Yarke

Ing. Carlos A. Cadena
Dr. Julio Durán
Lic. Jorge Follari
Dr. Hugo Grossi Gallegos
Dra. Graciela Lesino
Dr. Ruben Piacentini
Dr. Jorge Tocho

COMPAGINACIÓN E IMPRESIÓN

Ricardo A. Caso, Beatriz L. Balderrama, Hugo Suligoy y Carlos A. Fernández.
(Salta, Argentina)

ASADES

Asociación Argentina
de Energías Renovables y
Ambiente

COMISIÓN DIRECTIVA

Presidente : Graciela Lesino
Secretario : Adolfo Iriarte
Tesorero: Luis Saravia
Vocales: Hugo Grossi
Celina Filippín

COMISIÓN REVISORA DE CUENTAS

Miguel Angel Lara
John Martin Evans
Elias Rosenfeld

DIRECCIÓN POSTAL ASADES

INENCO - UNSa
calle Buenos Aires 177
4400, Salta, Argentina
Tel. 54-87-255423
Fax 54-87-255489
E-mail asades@ciunsa.edu.ar

INDICE

1. APLICACIONES AGRÍCOLAS E INDUSTRIALES.

SECADO SOLAR DE PLANCHAS DE CARTÓN GRUESO. Ippoliti E., Viotti M., Lara M.A.	01.1
MEJORAS INTEGRADAS PARA EL CULTIVO DE PIMIENTOS EN INVERNADEROS EN EL SUR DE CORDOBA. Galimberti P.D., Barral J.R., Carrasco G., Gigena G., Lara M.	01.5
CASA DE VEGETACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE PLANTAS: ENSAYOS Y RESULTADOS PRELIMINARES. Iriarte A., Lesino G., C. Matías, A. Gonzáles, Tomalino L.	01.9
HUERTA HIDROPÓNICA EXPERIMENTAL. Quiroga M., Robredo P., Saravia L., Echazú R., Oliva L.	01.13
MEDIDAS TÉRMICAS EN INVERNADERO HIDROPÓNICO L. Saravia, R. Ecahazú, M. Quiroga, C. Cadena, P. Robredo, S. Flores	01. 17
EL USO DE INVERNADEROS COMO COLECTOR SOLAR Condori M., Saravia L.	01.21
INVERNADERO ANDINO EN NAZARENO, PROVINCIA DE SALTA. Quiroga M., Saravia L., Echazú R.	01.25
COMPORTAMIENTO POS-DESHIDRATADO DE LA MADERA DE QUEBRACHO BLANCO (<i>Aspidosperma quebrachoblanco</i>) Utgés E.E.	01.29
DESHIDRATACIÓN DE ESPECIES AROMÁTICAS UTILIZANDO UN PROTOTIPO DE SECADERO SOLAR. Sogari N., Castillo A., Busso A., Rodríguez G., Escobar Cuenca J., Jara J., Mambrin M.	01.33
SECADO SOLAR DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS DEL MONTE CHAQUEÑO (Harina de <i>Prosopis</i> sp. – Polen de <i>Typha</i> sp.) Zurlo H., Vergara L., Sequeira A., Spotorno R., Pérez Salerno B., De Pedro J., Stahringer A.	01.37
INVERNADERO RUSTICADERO PARA PLANTINES DE OLIVO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN. Iriarte A., García V., Bistoni S., Saravia L., C. Matías, A. González, L. Tomalino.	01.41

2. APLICACIONES TÉRMICAS Y QUÍMICAS

DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDAD Y TEMPERATURA EN CUERPOS ROMOS Salvo N., Hoyos D., De Paul I.	02.1
CALENTADOR DE AGUA CON RESIDUOS FORESTALES PARA USO COMBINADO CON ENERGÍA SOLAR. Iriarte A., Rodríguez C., Luque V.	02.5
UN COLECTOR SOLAR PLANO CONSTRUÍDO CON ELEMENTOS PLÁSTICOS DE DESCARTE: VIABILIDAD TÉCNICA Y CONSTRUCCIÓN. Busso A., Aeberhard A., Figueredo G.	02.9
EQUIPO DE CLIMATIZACIÓN ECOLÓGICO PARA AUTOMOTORES UTILIZANDO ENERGÍA DE DESPERDICIO DEL MOTOR: ESTUDIO PRELIMINAR. Busso A., Figueredo G., Pochettino J.J., Aeberhard A., Benítez F.	02.13

RESULTADOS DE PRIMEROS ENSAYOS EN UN EQUIPO DE TRES COCINAS SOLARES SEMEJANTES. Tilca F., Mealla Sánchez L., Passamai V.	02.17
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON BUTANO. NUEVOS ENSAYOS. Frigerio E., Lozano R., Saravia L.	02.21
TALLER COMUNITARIO PARA ARMADO DE COCINAS SOLARES DE CUBIERTA HORIZONTAL. Esteves A., Pattini A., Mesa A., Ferrón L.	02.25
EXPERIENCIAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO CON UN HORNO SOLAR. Passamai V.	02.29
SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA COCINA SOLAR. Passamai V.	02.33
O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE COLETORES SOLARES PLANOS. Duarte Pereira E.M., García J.M., de Souza Mesquita L.C.	02.37
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA SOLAR PARA COCCIÓN DE ALIMENTOS. CASO DE ÑACUÑAN, SANTA ROSA, MENDOZA Esteves A., Pattini A., Mesa A., Candia R., Delugan M., Torres L., García G., Palazzo H.	02.41
DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE TRANSPORTE DE CALOR Y MASA EN MATERIALES CONSTRUCTIVOS. Tramaglia J.A., Polito E.D., Guerrero J.L.	02.45
TRANSFERENCIA TÉRMICA EN UN RECINTO CERRADO PRODUCIDA POR CONVECCIÓN NATURAL. Vilte M., De Paul I., Mesa F.J.	02.49
EL DISEÑO DE COCINAS SOLARES COMUNALES CON CONCENTRADOR Y ACUMULADOR SÓLIDO MÓVIL. Saravia L., Cadena C., Suárez H., Caso R. Y Fernández C.	02.53
BALANCE DE ENERGÍA Y FUNCIÓN DE PREDICCIÓN PARA UN DESTILADOR SOLAR TIPO BATEA. De Paul I., Hoyos D., Saravia L.	02.57
MECANISMO DE SEGUIMIENTO PARA COCINAS SOLARES Echazú R., Cadena C.	02.61
ESTUDIO PARAMÉTRICO SIMPLIFICADO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UN SATÉLITE EN ÓRBITA BAJA TERRESTRE. Brito H.H., Lifschitz L.A., Duelli R.M., Deam R., Molisani L., Maglione S.	02.65
MEDIDOR DE INTENSIDAD DE RADIACIÓN SOLAR PARA UN CONCENTRADOR FRESNEL Cadena C., Saravia L.	02.69
PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES DE SAN LUIS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MURO TROMBE. Follari J., Di Gennaro J.	02.73
CLIMATIZACIÓN POR CICLO ABIERTO DESECADO Y HUMIDIFICACIÓN Figueredo G., Busso A., Pochettino J., Benitez F., Aeberhard A.	02.77

INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS Y ENERGÍA SOLAR PARA UN PROYECTO DEMOSTRATIVO EN ZONA AISLADA. González Matterson M.L., Evans J.M., de Schiller S., Delbene C., Garreta F.....	02.81
CARACTERIZACION DE LOS PRODUCTOS SOLIDOS OBTENIDOS EN LA PIROLISIS DE UN RESIDUO AGROINDUSTRIAL A DIFERENTES TEMPERATURAS. Della Rocca P.A., Bonelli P.R., Cerrella E.G., Cukierman A.L.....	02.85
ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DE FACTIBILIDAD DE EMPLEO MASIVO DE TERMOTANQUES SOLARES DOMÉSTICOS Cortés A., Jozami A., Lucci F.....	02.89
RESIDUOS FORESTALES COMO PRECURSORES PARA LA PREPARACION DE CARBONES ACTIVADOS. Bahrton A., Horowitz G.I., Bonelli P.R., Cerrella E.G., Cassanello M.G., Cukierman A.L.....	02.93
ESTUDIO CINETICO DE LA GASIFICACION DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA. Villegas P.J., Bonelli P.R., Cassanello M.C., Cukierman A.L.....	02.97
BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR: ENSAYOS PRELIMINARES PARA SU EMPLEO EN LA PRODUCCION DE CARBON ACTIVADO. Villegas P.J., Bonelli P. R., Cassanello M.C., Cukierman A.L.	02.101
ESTUDIO INTEGRAL SOBRE LA PIROLISIS DE ASERRIN. Della Rocca P.A., Cerrella E.G., Bonelli P.R., Cukierman A.L.....	02.105
INCUBADORA Y CRIADERO DE YACARÉ CON SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR RESULTADOS DE LA PRIMERA CAMPAÑA. Evans J.M., Garreta F.....	02.109
TRANSFERENCIA PARTICIPATIVA DE UN SECADOR TIPO INVERNADERO Iriarte A., García v., Carabajal D., Paunero I., Tomalino L.	02.113
SISTEMA DE CALENTAMIENTO AUXILIAR PARA INVERNADERO-SECADERO. Rodríguez C., Iriarte A., Saravia L.	02.117
HORNO SOLAR DE CUBIERTA VIDRIADA HORIZONTAL PARA ALTAS LATITUDES. Esteves A.....	02.121

3. ARQUITECTURA HABITAT Y MEDIO AMBIENTE.

UN EDIFICIO ESCOLAR ENERGETICAMENTE EFICIENTE EN UN TERRENO CON ORIENTACIÓN INTERMEDIA. De Rosa C., Esteves A., Pattini A., Cantón A., Basso M.....	03.1
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO LUMÍNICO EN AULAS CON DIFERENTES SOLUCIONES DE ENVOLVENTE EDILICIA. San Juan G.A., Evans J.M., Bogatto M., Hoses S., Marmora M.....	03.5
ANÁLISIS ENERGÉTICO DE UNA TIPOLOGÍA EDILICIA ESCOLAR EN LOCALIZACIONES GEOGRÁFICAS Y ENTORNOS PRÓXIMOS DIFERENTES DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA. Filippin C.	03.9
RESIDENCIAS BIOCLIMÁTICAS PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA. Filippin C., Beascochea A.....	03.13

UN EDIFICIO SOLAR PASIVO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA. Beascochea A., C. Filippin.....	03.17
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO TERRESTRE PARA UNA ESCUELA BIOCLIMÁTICA. Esteves A. y Fernández Llano J.....	03.21
ENERGÍA EN EDIFICIOS. APROXIMACIÓN A LA PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LOS PABELLONES II Y III DE CIUDAD UNIVERSITARIA. Evans J.M., Casabianca G., Eguía S., Cavilli A. y Torres S.....	03.25
RENDIMIENTO TÉRMICO DE SISTEMAS SOLARES PASIVOS CON OBSTRUCCIONES LATERALES..... Bargna A., Curadelli S., Martín V., Esteves A.	03.29
PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES EN MUSEOS. EL CASO DEL GRAN LA PLATA. Gómez A.F., Rosenfeld E., Czajkowski J.D.....	03.33
ILUMINACIÓN NATURAL A TRAVÉS DE PATIOS EN CLIMAS TEMPLADOS. Delbene C. A., Evans J.M.	03.37
VENTILACION NATURAL EN EDIFICIOS ENFERMOS. Fernández A., Casabianca G., Delbene C., Eguía S.	03.39
EL MEDIO AMBIENTE Y LA ILUMINACIÓN Kirschbaum C., Colombo E., Pattini A.	03.41
CURSO DE POSGRADO "ARQUITECTURA INTELIGENTE" Evans J.M., deSchiller S., Scaliter A.....	03.45
ARQUITECTURA SOSTENIBLE: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN De Schiller S., Evans J.M., Murillo F., Leveratto M.J., Garreta F.	03.49
UNA TIPOLOGÍA EDILICIA ESCOLAR EN LOCALIZACIONES GEOGRÁFICAS DIFERENTES EN LA PROVINCIA DE LA PAMPA. ANÁLISIS DE SU CONSUMO ENERGÉTICO. Filippin C., de Rosa C.	03.51
UN EDIFICIO SOLAR PASIVO PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA. DOS AÑOS DE RESULTADOS. Filippin C., Beascochea A.	03.55
DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE UN LUMIDUCTO VERTICAL PARA AULAS. Candía R., Ferrón L., Ríos Vera G., Sota A.	03.59
EVALUACIÓN SUBJETIVA DE AULAS ILUMINADAS CON LUZ NATURAL. Pattini A., Kirschbaum C.	03.63
ESTUDIOS PRELIMINARES PARA EVALUAR LA ILUMINACIÓN NATURAL EXTERIOR EN MENDOZA. MEDICIONES Y MODELIZACIONES. Pattini A., Betman E.....	03.67
ESTUDIO EXPERIMENTAL DE SISTEMAS PASIVOS: GANANCIA DIRECTA, MURO MACIZO/TROMBE, INVERNADERO. Blasco Lucas I., Hoese L., Pontoriero D.	03.71
DIAGNÓSTICO Y ESCENARIO DEL SECTOR DE LA VIVIENDA RURAL EN ZONAS DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN. Negrete J.R., Sanchez de Colacelli, M.R., Guijarro J.L.P., Costilla A.M., Corradi C.M., Soldati M.E., Ajmat R.F., Raed A., Robles M.B., Lorente S.E., De Innocentiis L.M., Leguizamón, J.E. e Higuera P.....	03.75

TALLER DE VIVIENDA SOCIAL-PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES INTERIORES DEL HABITAT. Mitchell J.A.....	03.79
EDIFICIOS SUSTENTABLES: CONCEPTO DE COMPACIDAD ARQUITECTÓNICA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA. Gaidimaukas, de Schiller S.....	03.83
REFUNCIONALIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO DEL PATRIMONIO HISTORICO ARQUITECTÓNICO REGIONAL. EL CASO DEL MUSEO DEL RIEGO DEL ALTO VALLE DE RÍO NEGRO. Piva N.-, Di Fiore D., Cazzasa J.....	03.87
BASES PARA LA PROPUESTA DE UN MODELO ARTICULADO DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL ESPACIO. Caso de estudio el Alto Valle Río Negro y Valle Interior del Río Neuquén. Engelland S., Piva N.	03.91
EL ESPACIO PERIURBANO Y EL CASO DE UN MODELO METRÓPOLI EN FORMACIÓN. A. Fainberg	03.95
EFFECTOS AMBIENTALES DE LA OCUPACIÓN ESPONTÁNEA DE AREAS URBANAS CRÍTICAS. ANÁLISIS DE UNA EXPERIENCIA DE EIA DE UN ASENTAMIENTO MARGINAL EN EL PERIURBANO DE NEUQUÉN CAPITAL. Jurgeit A., Sguazzini Mazuel	03.99
EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO EN EDIFICIOS PATRIMONIALES. Evans J.M., de Schiller S., Garreta F., Balla S., Benbassat J., Amura S.	03.103
ILUMINACIÓN NATURAL EN VIVIENDAS DE MEDIA Y ALTA DENSIDAD EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES. Palmero M.F., de Schiller S.	03.107
MEDICIONES DE RESISTENCIA TERMICA DE SISTEMAS DE TECHO CON CAMARA DE AIRE. Volantino, V.L.	03.111
PROPUESTAS DE NORMAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO AMBIENTAL DE EDIFICIOS EN TUCUMAN. Gonzalo G., Martorell L.E., Ledesma S.L., Serrano R., Nota V., Cisterna S., Quiñones G., Martínez C. y otros	03.115
ILUMINACIÓN NATURAL Y CONFORT TÉRMICO PARA ESCUELAS EN JUJUY. Basile S.P., Evans J.M.	03.119
UN PROYECTO DE EXIGENCIAS MÍNIMAS Y RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD HIGROTÉRMICA DE LAS VIVIENDAS FINANCIADAS POR EL BANCO HIPOTECARIO DEL URUGUAY. Girardín M.G., Echevarría C., Picción A.	03.123
ANÁLISIS DEL MÉTODO DE P.O. FANGER PARA OBTENER EL PMV (RANGO DE CONFORT HIGROTÉRMICO) Mesa N.A., Morillón D.	03.127
INCIDENCIA DE LA MORFOLOGÍA URBANA EN LA DISPONIBILIDAD DE RADIACIÓN EN ENTORNOS URBANOS CONSOLIDADOS. ESTUDIO DE CASO. Cantón M.A., Cortegoso J.L., Fernández J., de Rosa C.	03.131
PROYECTO ECO-CASA. 1ra. Parte Levinton C.....	03.135

MÓDULO EXPERIMENTAL PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS SOLARES PASIVOS.

Costoya J.C., Aguirre J.F., Gross H., Ortíz J.M., Holm S., Bustos J., Marengo J., Kubar C., Barrios G., González D., Balkevicius E., Cid G., Ipata D., de Lucía A. 03.139

4. FOTOVOLTAICO

DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO DE SEGUIMIENTO DE LA TRAYECTORIA SOLAR.

Santillán G., Blanco G., Spina M. 04.1

ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMICILIARIOS EN AREAS RURALES.

Pontoriero D., Blasco Lucas I., Hoese A. 04.5

SILICIO NANOCRISTALINO COMO MATERIAL DE BASE EN CELDAS SOLARES.

Buitrago R.H., Schmidh J., Koropecski R., Arce R., Cutrera M. 04.9

DESARROLLO DE PLATAFORMA PARA EVALUAR EL USO DE FOTOVOLTAICOS EN EDIFICIOS.

Garreta F., Marusic J., Pérez A. 04.13

ABASTECIMIENTO ELECTRICO A UNA GRANJA LECHERA AISLADA BASADO EN ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.

Manno, R.H. 04.17

EL USO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN AREAS URBANAS DE LA ARGENTINA.

Fuentes M., de Schiller S., Evans J.M., Roaf S., Gregory J., Wilshaw A. 04.21

AUTOMATIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLETA DE DADOS PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.

Machado Neto L. De V. B., Duarte Pereira E.M., Schirm R., Bicalho A., Oliveira L.G.M., Aquino R., da Silva F.M.T., de Oliveira H.B., Pádua I.H. 04.25

ELABORACION DE PELICULAS DE CdTe PARA USO SOLAR.

Picicelli R., Dragone J.L., Lamagna A., Di Lalla N. 04.29

ELABORACIÓN DE PELÍCULAS DE ÓXIDOS CONDUCTORES TRANSPARENTES PARA USO SOLAR.

Picicelli R. 04.33

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN LAS ESCUELAS RURALES DEL NORTE SANTAFESINO.

Cutrera M., Gottlieb B., Battioni M., Crisalle R., Risso G., Koropecski R., Arce R., Buitrago R.H. 04.37

5. INSTRUMENTACION

ESTIMACIÓN DEL ERROR OPERACIONAL DE UN TRANSDUCTOR DE FLUJO DE CALOR.

Vieytes M.C., Volantino V.L., Moruga J.V. 05.1

BALANZA ELECTRÓNICA USANDO UN TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

Mealla Sánchez L., Saravia Mathon L. 05.5

FABRICACIÓN DE SOLARÍMETROS DE BAJO COSTO EN LA ARGENTINA: ALGUNAS PROPUESTAS TEÓRICAS Y PRIMERAS EXPERIENCIAS.

Durán J.C., Bolzi C.G., Godfrin E.M., Plá J.C., Merino L.M., Bruno C.J., Tamasi M.J.L. 05.9

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA CON EL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE YESO. Flores S., Lesino G.	05.13
MÉTODO DE MEDIDA DE VELOCIDAD EN FLUÍDOS USANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES. Hoyos D., De Paul I.	05.17
DATOS METEOROLÓGICOS POR INTERNET Hoyos D., Cadena C.	05.21
ALGUNOS COMENTARIOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE UN SENSOR FOTOVOLTAICO NOTA TÉCNICA. Dursi O., Grossi Gallegos H., Renzini G.	05.25
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS. Natalini M.B., Aeberhard A., Rauch J., Aeberhard M.	05.29
SISTEMA DE CALIBRACIÓN PARA MEDIDAS DE VELOCIDAD EN FLUÍDOS USANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES. Serrudo H., Hoyos D., De Paul I.	05.33
ILUMINACIÓN EN MAQUETAS Y ESPACIOS CON ILUMINACIÓN NATURAL. RECOMENDACIONES PARA SU MEDICIÓN. Evans J.M., Bogatto M., Marmora M.I., San Juan G.A.	05.37

6. USO RACIONAL DE LA ENERGÍA

EVALUACIÓN ENERGÉTICO-AMBIENTAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE. EL CASO DEL GRAN LA PLATA. Ravella O., Olivera H., Aon L., Baradjian	06.1
EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA ILUMINACION RESIDENCIAL. Tanides C.G.	06.5
LA ADAPTACION DE ENERGY-10 PARA LA ARGENTINA. Rapallini, A., Yarke E.	06.9
IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR RESIDUOS PLÁSTICOS Kim, M.R., Pampeana R., Goldsmidt, Cáceres J., Quiroga A., Bennun S., Ruiz D., Callol S.	06.13
MODELIZACIÓN DE LAS REDES DEL TERCARIO EN SUS DIMENSIONES EDILICIAS, ENERGÉTICAS Y PRODUCTIVAS. DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DE PERFILES CARACTERÍSTICOS DE COMPORTAMIENTO DE LOS SECTORES SALUD Y EDUCACIÓN Díscoli C., San Juan G.	06.17
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. DESARROLLO DE MATRICES DE ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES DE EVALUACIÓN. Díscoli C.	06.21
METODOLOGÍA DE CUANTIFICACIÓN Y DISCRIMINACIÓN PARA LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES DE ORIGEN ENERGÉTICO EN LOS MÓDULOS DIFERENCIALES DEL SUBSECTOR SALUD. Martini I., Rosenfel Y., Díscoli C., Rosenfeld E., Tesler J.	06.25
INTELIGENCIA – URE EN EDIFICIOS MEDIANTE EL CONTROL INTEGRAL DE VARIABLES. Rosenfeld E., Díscoli C.A., Romero F., Ferreyro C., Pinedo A., Moreno J.M.	06.29

OPTIMIZACION DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE UNA RED TRIFÁSICA DE POTENCIA (POR EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SUS IMPEDANCIAS VARIABLES Y COMPLEJAS). Hoyos L., Cadena C., Hoyos D.	06.3
BOMBA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA ZONA DE VILLA MERCEDES (SAN LUIS). Di Gennaro, Rodrigo V., Bachiller A., Rodrigo R.	06.3
EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS NO CONVENCIONALES EN AREAS RURALES HOMOGÉNEAS DE CARENCIA ENERGÉTICA EN LA REGIÓN NOA. Combetto A., Reboratti L., Pelicano G., Labourt J., Benedetti A.	06.4
EVALUACIÓN DE CALIDAD AMBIENTAL DE EDIFICIOS: CONFORT Y EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN VARIABLES BIOCLIMÁTICAS Y COMPACIDAD EDILICIA. De Schiller S., Gaidimauskas L., Torres S.	06.4
ANÁLISIS TÉRMICO AMBIENTAL DE UNA VIVIENDA DE PERÍMETRO RECORTADO Y OTRA COMPACTA EN CLIMA FRÍO VENTOSO PUERTO MANZANO – VILLA LA ANGOSTURA. Cavilli J.C.A., de Schiller S.	06.4
LA PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA EN EL NOA. UN ANÁLISIS GEOGRÁFICO. Reboratti L., Pelicano G., Benedetti A., Combetto A., de la Cuétara Osvaldo.	06.5
EL SISTEMA DE REDES DE SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA URBANO-REGIONAL Y SU RELACION CON LA EFICIENCIA Y CALIDAD AMBIENTAL. Rosenfeld E., Pires P., Discoli C., Karol J., San Juan G., Czajkowski J., Olivera H., Gentile C.M.	06.5
7. EFLUENTES Y BIOMASA	
DINAMICA DE FERMENTACION EN LA PRODUCCION DE BIOGAS Achilles R.A., Bucki Wasserman B.	07.
GESTIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MAR DEL PLATA Plaza G., Pacheco O., Scaroni E., Martearena M.R., Menna M., Jacob S.	07.
FERMENTACION ANAEROBICA DE LOS RESIDUOS DE LA OBTENCION DEL PRINCIPIO ACTIVO DEL CARDO MARIANO (<i>silybum marianum</i> L.) Rolando A. E., Díaz R. R.	07.
CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO Y METALES EN LÍQUIDOS DE ENTRADA Y SALIDA DE FILTROS ANAERÓBICOS ALIMENTADOS CON LIXIVIADO. Alonso, M.S., Barberis S.R., Amador M.B., Jerez J.C.	07.1
TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DE LA INDUSTRIA DEL TABACO. Tejerina W.A., Capelli D. Y G. Plaza	07.1
DEGRADACIÓN SOLAR DE AGUA CONTAMINADA CON 1,1,1,2-TETRACLOROETANO USANDO TiO ₂ , EN SUSPENSION, MEDIANTE UN FOTOREACTOR DE PLACA PLANA. Riggio R., Martínez H., Espinoza J. y Boucíguez A.	07.2
COMPLEJO ESCOLAR CON AUTOGENERACION ENERGETICA EN BASE A ENERGIA SOLAR Y BIODIGESTION – ETAPA II BIOGAS. Galiano René O., Killer N.M., Gómez R., Gropelli E.	07.2

BIODIGESTOR EXPERIMENTAL CALEFACCIONADO. Aguirre J.F., Gross H., Ortíz J.M., Holm S., Bustos J., Kubar C., Barrios G., Balkevicius E., Cid G., Ipata D., Tellería J., Marengo J., de Lucía A.....	07.29
EVOLUCIÓN DE VARIABLES DURANTE LA PRIMERA PUESTA EN MARCHA DE FILTROS ANAERÓBICOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE LIXIVIADOS. Alonso M.S., Pellisco R.C., Moyano R.R., Cayo N.R.	07.33

8. EÓLICA Y GEOTÉRMICA

CONVERSOR MECÁNICO TÉRMICO PARA ENERGÍA EÓLICA. Moreno R., Guerrero J.L.	08.1
TURBINAS SAVONIUS PARA BOMBEO DE AGUA Y PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. 1º ETAPA: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS OPERACIONALES. Gerez M.A., Gonzalo G.E.	08.5
DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA. 1º ETAPA. Rodríguez J.L., Guerrero M., Giménez A.M., Ruiz M., Carvajal J., Vuanello J.	08.9

9. NUEVAS TECNOLOGÍAS

DESTILACIÓN DE AGUA CON FIBRAS HUECAS: BARRIDO DEL VAPOR CON AIRE Y CONDENSACIÓN EN CONTACTO DIRECTO. Gea M., Lesino G.	09.1
ENSAYO DE UNA UNIDAD DE DESTILACIÓN POR MEMBRANA HIDROFOBA. Hernández A., Salvo N., Lesino G.	09.5
HIDROGÊNIO ELECTROLÍTICO EÓLICO PARA AQUECIMIENTO DE AMBIENTES. Da Motta Sobrinho M.A., Carvalho Rosas P.A.	09.9

10. EDUCACIÓN

EL ENSAYO DE UN ACUMULADOR DE PIEDRAS COMO PRÁCTICO DE LABORATORIO DE UN CURSO DE LA MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES. Saravia L., Echazú R.	10.1
DESARROLLO DE UN PLAN DE EDUCACIÓN AMBIENTAL EN EL NIVEL INICIAL, PRIMERO Y SEGUNDO CICLO DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA. Robredo P., de Del Monte A. V.	10.5
CAPACITACIÓN DOCENTE EN RESIDUOS Y EL AMBIENTE APLICADA A UN PROYECTO CURRICULAR INSTITUCIONAL. Plaza G., Pacheco O., Scaroni E., Martearena M.R.	10.9
EQUIPOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS FENÓMENOS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA Y DE CONVERSIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR. Albizzati E., Rossetti G.	10.13
EDUCACIÓN AMBIENTAL Y ENERGÍAS RENOVABLES. EXPERIENCIA EN UNA RESERVA NATURAL. Corbella C., Verner S.	10.17
EL SOL QUE LLEGA A LA TIERRA: APRENDEMOS A USAR SU ENERGÍA. Hoyos D., Hernández A., Méndez S., Boucíguez A., Esteban S. y Ovejero A.	10.21

**APLICACIÓN DEL PROGRAMA MATHEMATICA EN LA
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS TÉRMICOS EN SISTEMAS SOLARES.**

Saravia L., Hernández A. 10.2

**ASIGNATURA DE GRADO "ENERGÍA ELÉCTRICA Y
MEDIO AMBIENTE". CINCO AÑOS DE EVOLUCIÓN.**

G. Bacino, O. Noguera, C. Dimenna, M. Macri 10.29

11. RADIACIÓN Y CLIMA

**COMPARACION DE MODELOS PARA EL CÁLCULO DE LA RADIACIÓN
SOLAR ULTRAVIOLETA INCIDENTE EN EL PLANO HORIZONTAL.**

Altamirano L.L., Albizzati E.D., Alfano O.M. 11.1

**RADIACIÓN SOLAR INSTANTÁNEA Y HORARIA SOBRE PLANOS INCLINADOS.
PREDICCIONES TEÓRICAS Y DETERMINACIONES EXPERIMENTALES.**

Altamirano L.L., Rodolfo P.L., Albizzati E.D., Alfano O.M. 11.5

RADIACION SOLAR EN BRASIL: UNA EVALUACION.

Tiba C., Grossi Gallegos H., Fraidenraich N., Lyra F. 11.9

MEDICIONES ESPECTRALES DE RADIACION ULTRAVIOLETA EN TRELEW.

Pedroni J.V., Rosales A., Schaigorodsky M.R., Tocho J. 11.13

**INTERDEPENDENCIA ENTRE ISOTERMAS E ISOHUMAS CON LA
MODALIDAD DE LA ESTRUCTURA URBANA.**

Papparelli A., Kurban A., Cunsulo M., Montilla E. 11.17

**MONITOREO DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA CIUDAD
DE CAMPANA.**

García Ebbens C.A., Leanza L.N., Parente J.R., Varanese C.T., Nemer O.E. 11.21

ESTUDIO DE LAS MASAS DE AIRE EXTREMAS EN LA REPUBLICA ARGENTINA.

Coronel A., Lara M.A., Bischoff Y.S. 11.25

**MEDICIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE EN AIRE MEDIANTE
METODOS ACTIVOS Y PASIVOS.**

Ripoli L.J., Reyna Almandos J., Rosato V.G., Alberino J.C., Rosato M., Maresca
M.J., Solari S. 11.29

**DINÁMICA HÍDRICA ALUVIONAL Y ASENTAMIENTOS POBLACIONALES .
EL CASO DE LA CUENCA XV EN LA CIUDAD DE NEUQUÉN.**

Rapacioli R. 11.33

PLATAFORMA DE SIMULACION DE SISTEMAS SOLARES

Aguilera M., Hoyos D., Cadena C. 11.37

**DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA RADIACIÓN APLICADA A
COLECTORES PLANOS UBICADOS EN LA CIUDAD DE ILLA MERCEDES (SAN LUIS).**

Monasterolo R., Ribotta S., Fasulo A. 11.41

ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL ULTRAVIOLETA EN SAN LUIS.

Deluigi M., Crinó E., Sirur Flores J., Fasulo A. 11.45

**COMPORTAMIENTO DE LA RAZÓN DIFUSA/GLOBAL DE RADIACIÓN
SOLAR PARA ÍNDICES DE CLARIDAD MEDIO Y ALTO SOBRE
LA BASE DE MEDICIONES INSTANTÁNEAS EN ROSARIO, ARGENTINA.**

Luccini E.A., Parodi M.A., Piacentini R.D. 11.49

**MEDICIÓN ABSOLUTA Y MODELIZACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR
ESPECTRAL DIRECTA DE 305.5 nm EN ROSARIO, ARGENTINA.**

Micheletti M.I., Luccini E.A., Piacentini R.D. 11.53

ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA GENERACIÓN DE SECUENCIAS
SINTÉTICAS DE VALORES DE RADIACIÓN SOLAR.

Adaro J., D. Cesari, A. Lema, P. Galimberti.....11.57

INFLUENCIA DEL EVENTO EL NIÑO 1997-1998 SOBRE LAS INTENSIDADES
SOLARES GLOBALES INCIDENTES SOBRE ROSARIO, ARGENTINA.

Piacentini R.D.11.61

DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO DE SEGUIMIENTO DE LA TRAYECTORIA SOLAR

Guillermo Santillán, Gabriel Blanco, Marcelo Spina
Grupo de Investigación ADQDAT

Departamento de Ingeniería Electromecánica, Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Av. Del Valle 5737, (7400)- Olavarría - Pcia. de Buenos Aires
Teléfono: 0284-51055/56 - Fax: 0284-50628

E-mail: gsantill@fio.unicen.edu.ar / gblanco@fio.unicen.edu.ar / mospina@fio.unicen.edu.ar

RESUMEN

Se presenta en este trabajo los aspectos técnicos más relevantes de un dispositivo electromecánico de bajo consumo y bajo costo para el seguimiento de la trayectoria solar, desarrollado en el Departamento de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, y los resultados de las primeras experiencias realizadas con módulos fotovoltaicos. Se analizan los valores obtenidos en la ciudad de Olavarría comparando la energía eléctrica producida por un módulo fotovoltaico fijo con la energía generada por otro conducido por el dispositivo seguidor. Se observó como resultado una ganancia promedio del 15,5 % diario a favor del módulo móvil durante los meses de invierno en que se hicieron las mediciones. Por último se muestran los valores obtenidos de las mediciones de consumo energético del dispositivo donde puede observarse el bajo nivel del mismo, demostrando la factibilidad de su utilización en sistemas de muy baja potencia.

INTRODUCCIÓN

Este desarrollo tiene como objetivo brindar un aporte a la reducción del costo de la energía solar en general, y de la producida por medio de módulos fotovoltaicos en particular. Para ello hemos desarrollado en esta primera etapa un dispositivo electromecánico de muy bajo consumo para el seguimiento de la trayectoria solar aplicado a sistemas fotovoltaicos. Además de intentar resolver el problema clave en este tipo de dispositivos, a saber la relación entre la energía adicional generada y la energía consumida para el seguimiento, nos propusimos desarrollar un sistema confiable de muy bajo costo inicial y mantenimiento posterior. Las primeras experiencias han sido alentadoras, como puede observarse en los gráficos adjuntos donde se vuelcan las mediciones realizadas en los meses de julio y agosto del corriente año. Queda, por supuesto, realizar y analizar mediciones a lo largo de todo el año y probar sistemas de transmisión alternativos con el fin de optimizar el mecanismo de mando del dispositivo para llegar a conclusiones más precisas sobre la factibilidad técnico-económica del dispositivo.

Para este trabajo utilizamos una de las posibles soluciones para el mecanismo de mando que transmite movimiento a los módulos, pero entendemos que cada aplicación requiere de un estudio particular del dispositivo mecánico. No ocurre lo mismo con la componente electrónica del seguidor, que tal como ha sido desarrollada permite el ajuste de una serie de parámetros que la hacen adaptable a cualquier caso.

ASPECTOS TECNICOS RELEVANTES DEL DISPOSITIVO

El dispositivo funciona a partir de detectar la diferencia en el nivel de radiación que se produce sobre dos fotosensores cuando se sombrea uno de ellos debido al movimiento aparente del sol. A partir de allí el circuito electrónico asociado genera la señal correspondiente para alimentar al motor de 12 V de corriente continua que hace girar el array de módulos enfrentándolo de nuevo al sol, de modo tal que ambos fotosensores vuelvan a recibir la misma radiación. Una vez en esta posición el motor deja de recibir tensión y espera una nueva diferencia en el nivel de radiación sobre los sensores, la cual se producirá después de que el sol haya recorrido un ángulo de azimut de unos 5° aproximadamente. Cuando el nivel de luz sobre ambos sensores es demasiado bajo, como cuando anochece, el circuito envía una señal que activa un relé que invierte el sentido de giro del motor. El motor recibe tensión y gira de "oeste a este" hasta posicionar al array de módulos de modo que quede listo para recibir la radiación solar a la mañana siguiente.

Para la alimentación de potencia del motor es necesario contar con un banco de baterías que permita brindar la corriente necesaria que toma el motor en cada uno de los arranques. Como veremos la capacidad de almacenamiento necesaria de este banco es mínima y puede utilizarse eventualmente el mismo banco de baterías del sistema fotovoltaico si se trata de un sistema autónomo. El circuito electrónico asociado, cuyo consumo es despreciable aun frente al consumo del motor, se alimenta de esa misma fuente.

El dispositivo permite cierta flexibilidad en el ajuste de algunos parámetros que pueden hacer mejorar su performance de acuerdo a la situación en que se requiera su uso. Este "seteo" de variables permite por un lado controlar el grado de sensibilidad del sistema al movimiento aparente del sol. Esto es la cantidad de veces que el array de módulos se pondrá en movimiento durante el día. En un estudio posterior se analizará la ganancia adicional de energía obtenida por un

seguimiento más ajustado de la trayectoria solar frente al mayor consumo de la energía consumida por el motor en ese caso, ya que éste deberá arrancar una mayor cantidad de veces.

El otro valor "seteable" es el nivel de radiación para el cual queremos que el array gire en sentido inverso hasta ubicarse en la posición correcta para recibir la radiación solar al día siguiente. Esta posibilidad resulta interesante, en principio, sólo con fines experimentales, aunque podría ser de utilidad para el usuario en algún caso particular.

Como mecanismo para la transmisión de movimiento se utilizó un sistema de poleas y correa con una velocidad de salida de 0.3 rev/min, que resultó efectivo para el movimiento de un solo panel y con velocidades de viento de hasta 25 km/h aproximadamente. Para la transmisión de potencias superiores, mayor número de módulos y vientos más fuertes, se deberá desarrollar otro sistema de transmisión. En la segunda etapa del desarrollo del dispositivo seguidor se trabajará con una transmisión sinfin y corona diseñada para mover hasta 8 módulos en un eje inclinado.

MEDICIONES REALIZADAS

Las mediciones de corriente eléctrica generada por el módulo fotovoltaico fijo y por el conducido por el dispositivo de seguimiento se realizaron con la ayuda de una placa adquisidora de datos y el software correspondiente para su interpretación, ambos desarrollados por el Grupo de Investigación y Desarrollo ADQDAT del Departamento de Ingeniería Electromecánica. Esta placa permitió monitorear on-line los valores de intensidad de corriente generada por los dos módulos y además grabarlos en un archivo a intervalos regulares de tiempo. Este intervalo se estableció en 60 segundos, lo que permitió contar con unos 600 valores de intensidad de corriente por módulo y por día. Estos valores permitieron construir las curvas que se muestran más abajo e integrarlas con mucha precisión.

La medición de la corriente consumida por el motor del dispositivo tuvo que realizarse de una manera completamente diferente, ya que el tiempo de funcionamiento del motor en cada uno de sus movimientos a lo largo del día era del orden del segundo. De utilizarse la placa adquisidora de datos implicaba registrar la información a intervalos mucho menores al segundo, lo que hubiera generado una cantidad de datos demasiado grande. En su lugar se midió con un osciloscopio TEKTRONIX TDS210 el consumo de corriente para un movimiento del motor de manera muy precisa, determinando la curva de intensidad de corriente en función del tiempo. Luego, utilizando un contador electrónico, se registró la cantidad de veces que el motor arrancaba en un día. Con ambos datos se obtuvo el consumo total del motor en Ah/día.

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

A continuación se muestran las curvas obtenidas con los valores medios diarios de intensidad de corriente generada por dos módulos fotovoltaicos, uno fijo y otro siguiendo la trayectoria aparente del sol, durante los meses de julio y agosto de 1998. Para la obtención del valor de energía obtenida por uno y otro módulo se integraron las curvas Intensidad vs Hora del Día de forma discreta teniendo en cuenta el intervalo establecido entre mediciones, que en todos los casos fue de 60 segundos. Para una mejor interpretación y análisis de los resultados obtenidos se agruparon los datos en tres "zonas" de acuerdo al nivel de radiación medio diario:

1. Días de radiación baja: hasta 10 Ah/día sobre superficie inclinada a 52° respecto de la horizontal, azimut 0°
2. Días de radiación media: desde 10 Ah/día hasta 20 Ah/día sobre superficie inclinada a 52° respecto de la horizontal, azimut 0°
3. Días de radiación alta: más de 20 Ah/día sobre superficie inclinada a 52° respecto de la horizontal, azimut 0°

Para cada una de estas "zonas" se promediaron los valores de corriente obtenidos por cada módulo y se calcularon las ganancias de energía del módulo móvil respecto del fijo.

La intensidad de corriente consumida por el motor del dispositivo, en Ah/día, ha sido calculada como sigue:

Corriente media consumida en cada movimiento: 1.81 A

Duración del movimiento: 204 mseg

Número de veces promedio que arrancó el motor: 31

Energía promedio consumida por el motor en un día: $1.81 \text{ A} \times 0.204 \text{ seg} \times 31 / 3600 \text{ seg/h} = 0.0032 \text{ Ah/día}$

Datos de las mediciones:

Localidad: Olavarría, Pcia de Bs.As; Latitud: S 36.28°

Módulos Fotovoltaicos: SOLARTEC (Siemens) M-75

Módulo fijo: Tensión nominal: 12 V; Corriente de cortocircuito: 3.35 A; Tensión de circuito abierto: 19.8 V
Angulo respecto de un plano horizontal (ángulo óptimo para la latitud y los meses del año considerados): 52°; Azimut: 0°

Módulo móvil: Angulo respecto de un plano horizontal (ángulo óptimo para la latitud y los meses del año considerados): 52°; Azimut: variable, siguiendo la trayectoria aparente del sol en la bóveda celeste con eje vertical.

Motor de arrastre: Tensión nominal: 12 VCC; Potencia nominal: 30 W

Gráfico 1: Producción de energía del Módulo Fijo vs. Producción de energía del Módulo Móvil para radiación baja.

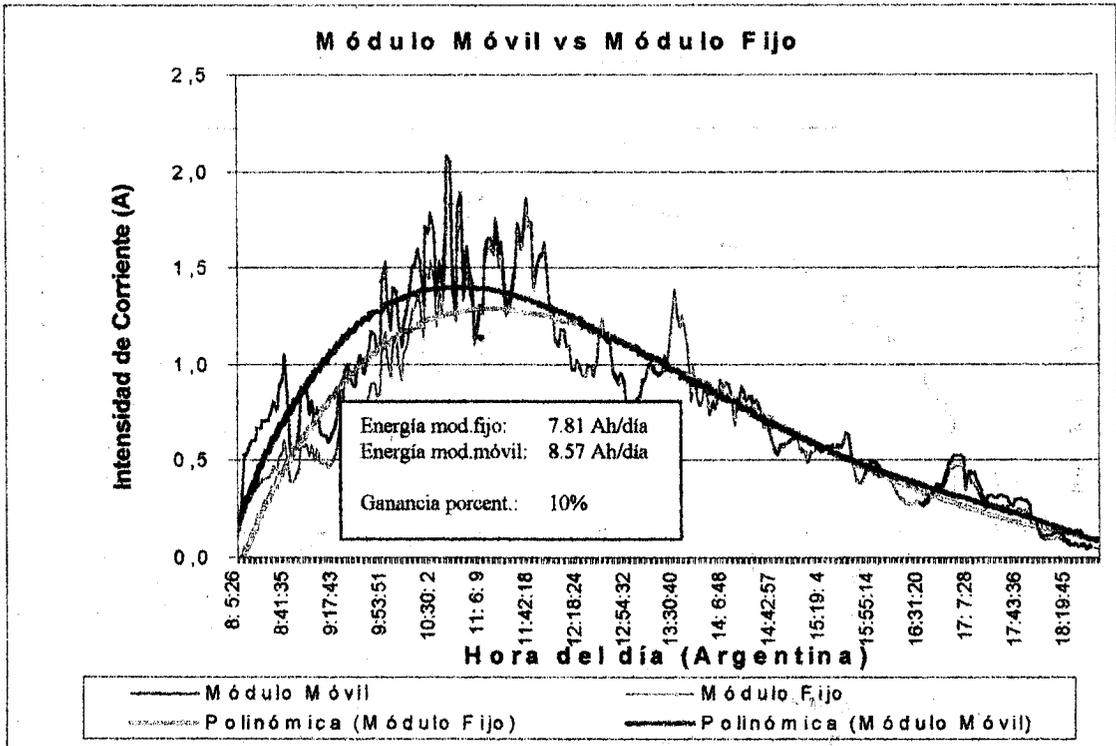


Gráfico 2: Producción de energía del Módulo Fijo vs. Producción de energía del Módulo Móvil para radiación media.

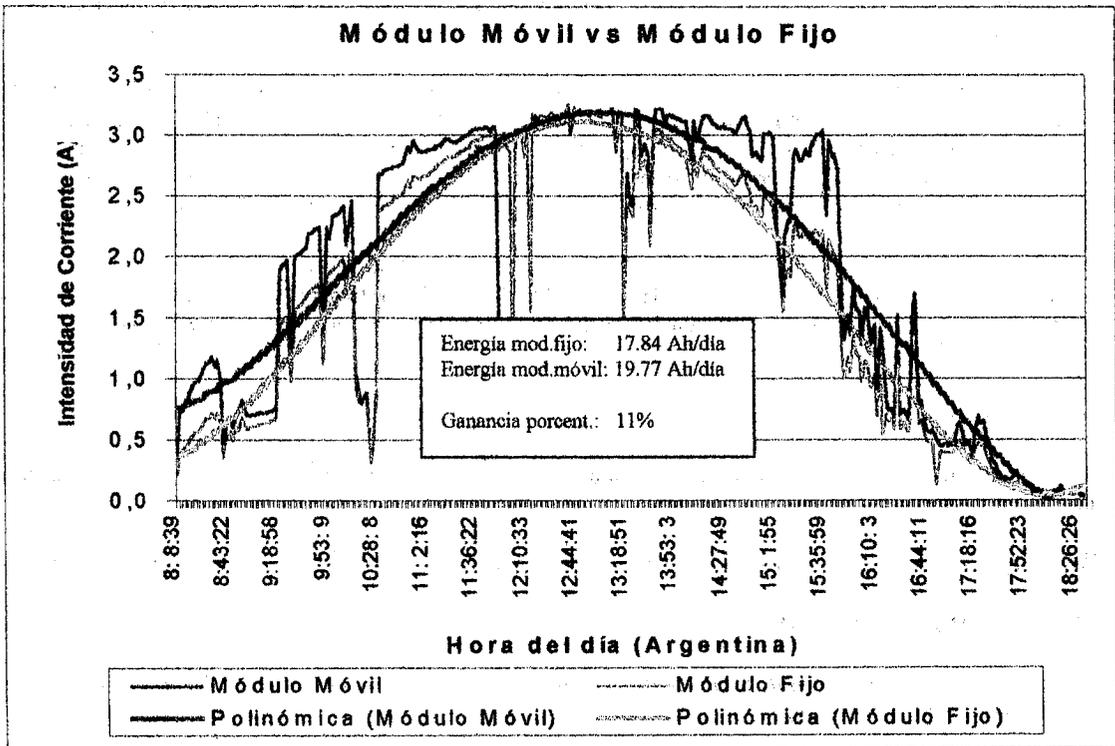
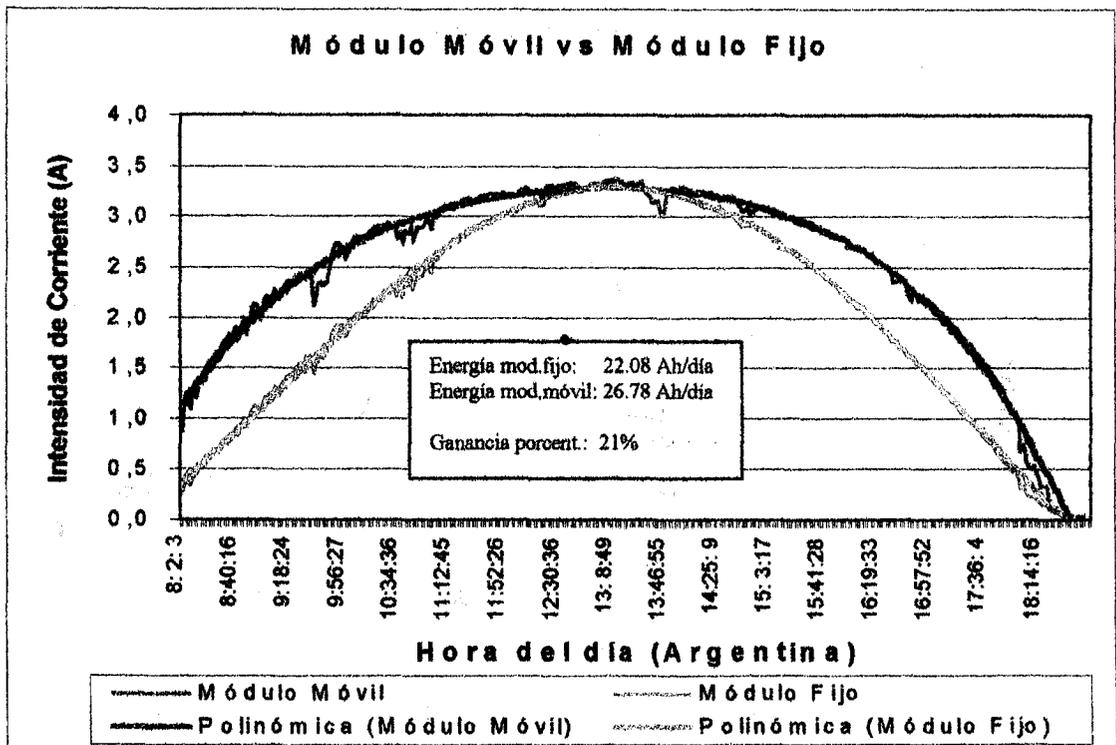


Gráfico 3: Producción de energía del Módulo Fijo vs. Producción de energía del Módulo Móvil para radiación alta.



CONCLUSIONES

Se observa que para los días nublados o parcialmente nublados la influencia del seguimiento de la trayectoria solar disminuye considerablemente. A pesar de la importante diferencia en la cantidad de energía generada por ambos módulos durante estos días, la incidencia de las nubes produce una radiación más homogénea desde toda la bóveda celeste provocando el efecto mencionado.

En los días de sol, en cambio la incidencia del seguimiento es mucho más notable, como era de esperar, aunque una ganancia del 21% del módulo móvil respecto del fijo como la obtenida para estos días (ver *Gráfico 3*) supera el cálculo teórico que se había realizado para los meses de invierno, julio y agosto, en Olavarría. De cualquier modo habrá que completar las mediciones por lo menos a lo largo de un año para obtener valores más exactos de la ganancia energética. Se estima que cuando se incluyan los meses de verano a las mediciones la ganancia energética promedio será aun mayor.

Por último se debe destacar la muy baja relación *consumo promedio del motor / energía promedio adicional generada*: 0.13 %. Este valor, sumado al bajo costo y a la confiabilidad electromecánica del dispositivo, justifican la realización de un análisis de factibilidad técnico-económica para su aplicación a sistemas fotovoltaicos de muy baja potencia, estudio que realizaremos en próximas etapas de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Ing. Juan Pablo Pendones e Ing. Roberto de la Vega por su participación en la adaptación, calibración y puesta en marcha de la placa adquisidora de datos.

Sr. Carlos Dalceggio por su buena predisposición y permanente colaboración en todas las tareas vinculadas a este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso García M.C. (1995) *Modelado de Componentes de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos*. División Solar, Instituto de Energías Renovables CIEMAT, Madrid.

LeBel P.G. (1982) *Energy Economics and Technology*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Millman J. (1993) *Microelectrónica, Circuitos y Sistemas Analógicos y Digitales*. Hispano Europea, Madrid.

ANALISIS DE EFICIENCIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMICILIARIOS EN AREAS RURALES
D. PONTORIERO, I. BLASCO, A. HOESE
Instituto de Energía Eléctrica - Universidad Nacional de San Juan

Av. Libertador Gral. San Martín 1109 (O) - 5400 San Juan - Argentina

Tel: +54 64 22 64 44 - Fax: +54 64 21 02 99 - e-mail: dpontori@icee.unsj.edu.ar

RESUMEN

El propósito es determinar el grado de ajuste de las especificaciones técnicas provistas por los fabricantes de componentes de sistemas PV con las hipótesis que se adoptan en la etapa de diseño. Para ello se realiza el análisis de eficiencia de estos componentes en un estudio de corto plazo que formará parte de uno de largo plazo planificado. El análisis está basado en datos de tres sistemas solares domiciliarios (SHS) seleccionados entre 14 SHS, con diferente potencia instalada, tipo de consumidores y perfil de carga, instalados en una población rural aislada en San Juan, a través del seguimiento de los sistemas por un periodo de tres años. Se realiza un análisis del recurso solar y de la demanda de energía y se obtiene la eficiencia de los componentes y de todo el sistema en relación a este análisis.

INTRODUCCION

A pesar de que en todo diseño de sistemas PV se busca lograr un funcionamiento apropiado de los mismos, en la etapa de la implementación se presentan múltiples inconvenientes técnicos motivados por fallas de los componentes e incorrecto uso, operación y mantenimiento de los sistemas. Con el fin de determinar las posibles causas de estos inconvenientes técnicos, se ha llevado a cabo un trabajo de investigación en una población rural de la Provincia de San Juan - Argentina enfatizando los siguientes aspectos en la etapa de diseño: a) Ajuste de los parámetros de diseño mediante un estudio pormenorizado de la demanda potencial, b) selección cuidadosa del tipo y calidad apropiada de los componentes, y c) entrenamiento de los usuarios para la correcta operación y mantenimiento del sistema. Primero se analizan las hipótesis de diseño utilizadas para el dimensionamiento de los sistemas respecto del recurso solar y la demanda energética estimada. Luego se presentan las comparaciones de los resultados de eficiencia de los módulos, baterías y sistema respecto de los valores teóricos y propuestos por los fabricantes.

ANALISIS DEL DISEÑO CONSIDERANDO LA OFERTA Y LA DEMANDA ENERGETICA

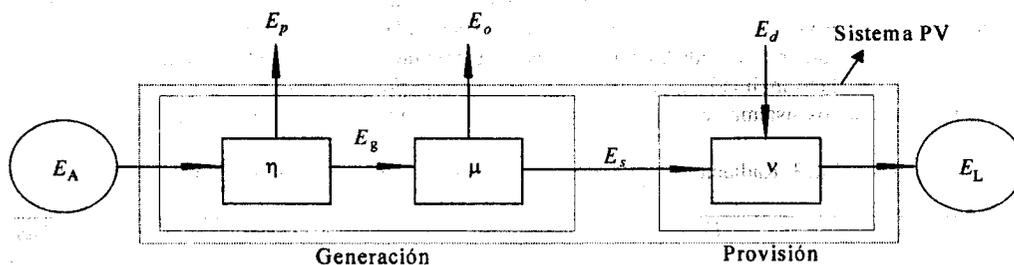
La Fig 1 muestra una configuración de un sistema PV, considerada como una estructura de generación acoplada a una estructura de consumo. En esta estructura se pueden evaluar el sistema a través de los siguientes parámetros: El rendimiento (η), el factor de aprovechamiento (μ), el factor de cobertura (ν) y el factor de adaptación (α). η expresa el complemento de las pérdidas de energía (1), μ expresa la medida del excedente de energía (2), ν expresa el complemento de la medida de la probabilidad de un déficit de potencia P_{def} (3), α mide la capacidad para evaluar la confiabilidad mediante una configuración apropiada (4).

$$\eta = (E_A - E_p) / E_A = (E_o + E_L - E_d) / E_A \quad (1)$$

$$\mu = (E_L - E_d) / (E_o + E_L - E_d) \quad (2)$$

$$\nu = 1 - \Pr(P_{def} > 0) \quad [\cong (E_L - E_d) / E_L] \quad (3)$$

$$\alpha = \mu \cdot \nu \quad (4)$$


 E_A : Energía Primaria

 E_o : Sobregeneración

 E_p : Energía Perdida

 E_L : Demanda Energética

 E_d : Energía no Provista

 E_s : Energía Provista

 E_g : Generación

Fig. 1. Configuración de un sistema PV, como dos estructuras acopladas.

Descripción de los sistemas del proceso de medición

Para seleccionar las variables a medir, necesarias para la evaluación del sistema, se consideraron tres subsistemas básicos: el recurso solar, el sistema PV y el consumo (Fig. 1). La Fig.2 representa esquemáticamente la interacción de estos tres subsistemas y las variables a sensor. Se midió la irradiación Solar en dos planos: horizontal e inclinado según el ángulo de inclinación de los módulos. A los efectos de contar con mediciones de distintos tamaños de sistemas, niveles de ingresos de los usuarios y destino del consumo, se monitorearon los sistemas instalados en dos viviendas (SHS1 y SHS2) y la escuela (SSS). La Tabla 1 muestra las variables que fueron medidas y los sensores y tipo de registrador utilizados.

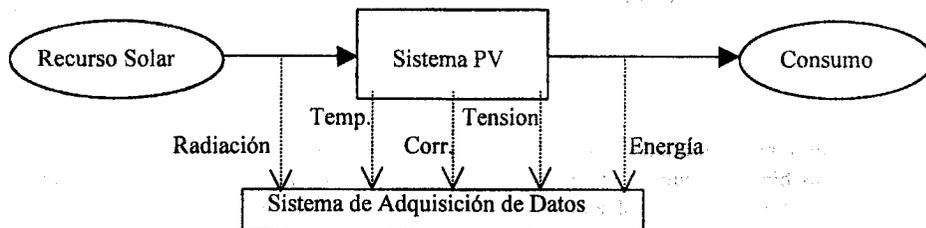


Fig. 2. Interacción de subsistemas y variables medidas

Tabla 1. Variables medidas, sensores y registro utilizados

Sistema	Radiación Solar		Energía		Corriente/Tensión		Temperatura	
	Sensor	Registro	Sensor	Registro	Sensor	Registro	Sensor	Registro
SHS1			Shunts	Contador	Shunt	Contador		
SHS2			Shunts	Contador	Shunt	Contador		
SSS	Celda de ref. Piranómetro	Integrador Ad. de Datos			Shunts	Sist. Ad. de Datos	PT100	Sist. Ad. de Datos

Con el Sistema de adquisición de datos se grabaron los datos cada 15 min como promediación de lecturas instantáneas efectuadas cada 3 seg. Los datos de energía acumulada registrados en los sistemas SHS1 y SHS2 se transfirieron a una planilla mediante lecturas quincenales. Para conocer la evolución horaria del consumo a lo largo del día se instaló un sistema de adquisición de datos durante períodos cortos en invierno en el sistema SHS1. La Tabla 2 muestra las características técnicas de los sistemas y el número de habitantes. Para el sistema SSS se considera un habitante permanente (maestro) y 15 transitorios (alumnos).

Tabla 2. Características técnicas de los sistemas seleccionados y número de habitantes

SIST.	MODULO	BATERIA	REGULADOR	LAMPARA	TOMA	ARTEFACTOS (CC)	HAB.
SHS1	1 (53Wp)	1 (tub/100 Ah)	3.5/7.5 A	3 (12V/9W)	3	Radio-Grabador, TV	6
SHS2	1 (48Wp)	1 (tub/ 80 Ah)	3.5/7.5 A	3 (12V /9W)	3	Radio-Grabador	3
SSS	5 (53Wp)	3 (tub/100 Ah)	17.5/25 A	6 (12V /9W)	10	Radio, Radio BLU, Radio - Grabador, TV, VC, refrigerador	1 +15

En todos los sistemas se realizó un seguimiento continuo y periódico de todos los componentes. Estas tareas fueron realizadas periódicamente por investigadores del IEE - UNSJ y apoyados por los para-técnicos del lugar que fueron adiestrados apropiadamente. Ver Pontoriero *et al.* (1994).

Análisis del Diseño respecto del Recurso Solar

Los datos obtenidos con el piranómetro arrojan valores de radiación global máximas instantáneas que superan los 1200 W/m² en plano horizontal en verano y valores superiores a los 1000 W/m² en plano inclinado en invierno. Esto pone en evidencia la poca nubosidad, alta reflectividad, baja humedad ambiente de la zona. La Tabla 3 muestra la radiación promedio anual acumulada diaria en plano inclinado y horizontal medida en el período de estudio, los valores análogos considerados en los métodos de diseño de los sistemas y su desviación relativa. El método de diseño se describe en Kaiser (1994).

Tabla 3. Radiación promedio anual acumulada diaria en plano inclinado y horizontal

	Valor Estimado (RE)	Valor Medido (RM)	Desviación [(RE - RM) / RM] %	
Radiación en plano Inclinado	5374.17 [Wh/m ² día]	6035.43 [Wh/m ² día]	- 13 %	
Radiación en plano Horizontal	5094.92 [Wh/m ² day]	5420.44 [Wh/m ² day]	- 7 %	
Energía Disponible sobre los modules	SHS(1/2) SSS	2289.40 [Wh/day] 11446.98 [Wh/day]	2571.09 [Wh/day] 12855.46 [Wh/day]	- 11 % - 11 %

El valor medido es mayor que el valor estimado en la mayoría de los meses del año, alcanzando en el mes de agosto un máximo de + 26 % en plano inclinado y un + 22 % en plano horizontal. La subestimación de los valores considerados en el diseño fue debida a que el pronóstico se realizó con valores obtenidos de localidades cercanas con características similares. Evidentemente el recurso solar de la zona de estudio es mayor que en las zonas consideradas para la estimación. Conforme a las relaciones indicadas en la Tabla 3, es de esperar que el comportamiento del sistema sea mejor que el estimado en el diseño.

Análisis de la eficiencia respecto del Consumo

En función a los datos registrados periódicamente con los contadores de energía, se realizó una determinación de la energía consumida (E_L) por los sistemas SHS1 y SHS2. Estos valores fueron comparados con los resultados de la simulación que se consideró para realizar el diseño del sistema. La Tabla 4 muestra las desviaciones relativas del consumo estimado (Ee_L) en relación al consumo medido (E_L) en los períodos de invierno y verano y el aporte diario de la batería (E_b) respecto al consumo medido. Además se observa el valor de la sobregeneración de energía del sistema (E_o) en relación a la energía generada por los módulos ($E_g = E_o + E_L$). Esta sobregeneración expresa la energía que se pierde porque no es aprovechada por el sistema y depende de la energía generada por los módulos (E_g), del déficit de energía (E_d) y del consumo final del sistema (E_L) y se obtiene como $E_o = E_g + E_d - E_L$ (Fig. 1), donde $E_d=0$ en todos los sistemas.

Tabla 4. Desviaciones relativas de consumo, aporte diario de la batería y sobregeneración relativas

Sistema	Promedio anual del Consumo Medido [Wh/día]		Desviación de la Demanda estimada $[(Ee_L - E_L)/E_L] * 100$		Promedio anual de energía relativa aportada por la batería $:(E_b/E_L) * 100$	Promedio anual de sobregeneración relativa $[E_o/(E_L + E_o)] * 100$
	Invierno	Verano	Invierno	Verano		
SHS1	177.96	137.25	+ 18 %	- 11 %	71 %	29 %
SHS2	128.5	87.39	- 27 %	- 48 %	81 %	45 %
SSS	24.98	17.76	+ 3502 %	+ 4967 %	20 %	98 %

El consumo medido en invierno es mayor que el estimado, en especial en el sistema SHS1, debido a que los habitantes permanecen más tiempo dentro de su vivienda, consumiendo mayor cantidad de energía en iluminación, radio y TV. Este exceso de consumo no ocasionó déficit en ninguno de los sistemas (E_d), por lo tanto el regulador de carga no produjo cortes de suministro por baja tensión de las baterías. La diferencia E_b para los distintos sistemas se produce debido a los hábitos de los usuarios y el equipamiento que poseen. Además la excelente radiación incidente contribuyó a que se contara con un aporte mayor de energía disponible E_g a lo esperado.

Como observamos en la Tabla 4 el sistema SSS resultó sobredimensionado debido a que el maestro por razones presupuestarias no pudo adquirir todo el equipamiento eléctrico previsto en el diseño. Por el escaso consumo las baterías prácticamente se mantuvieron a plena carga y se produjo una altísima sobregeneración del sistema. Debido a que no se producen situaciones de déficit ($\mu=1$) el factor de aprovechamiento μ es idéntico al factor de adaptación α .

EFICIENCIA DE LOS COMPONENTES

Eficiencia de los Módulos

Se realiza un análisis del efecto de la temperatura sobre los módulos, por ser la zona de estudio una región semidesértica con altas temperaturas. Se registraron con frecuencia en verano temperaturas ambiente que superaron los 40 °C y temperaturas de celdas de los módulos PV superiores a los 65 °C. Esta situación produjo un aumento de la corriente y una disminución en mayor proporción de la tensión en los módulos PV, provocando una disminución de la potencia pico y por lo tanto una pérdida en su rendimiento (Duffie et al., 1991). Se analizó el rendimiento real de los módulos instalados en el sistema SSS, en base a la expresión de la ecuación (5), definida por Duffie y Beckman (1991) y Chenlo, (1992).

$$\eta_{real} = (I_{mod} * V_{mod}) / (G_i * A_m) \quad (5)$$

η_{real} : Rendimiento real obtenido en los módulos
 I_{mod} : Corriente de módulo medida
 G_i : Irradiación solar incidente sobre los módulos.

V_{mod} : Tensión de módulo medida
 A_m : Area de colección de los módulos.

La Tabla 5 muestra los rendimientos medidos, los adoptados en la simulación y su relación porcentual. Los mayores rendimientos obtenidos en invierno se debieron a que los módulos no se vieron afectados por las altas temperaturas, siendo estos rendimientos levemente superiores a los estimados en ambas estaciones. Las mediciones de potencia corroboran el análisis realizado. El correcto mantenimiento llevado a cabo por los pobladores colaboró en el buen rendimiento logrado por los módulos.

Tabla 5. Rendimiento obtenido de las mediciones, de diseño y su relación porcentual

	<u>Rendimiento Obtenido (η_o)</u>	<u>Rendimiento de diseño (η_d)</u>	<u>Desviación [$(\eta_o - \eta_d/\eta_o)$] * 100</u>
Verano	10 %	9.9 %	+ 1 %
Invierno	11 %	9.9 %	+ 10 %

Eficiencia de las Baterías

No se produjeron efectos negativos en las baterías por altas temperaturas, debido a que las mismas se encuentran en lugares protegidos en el interior de las viviendas. Los reguladores de carga se ajustaron para una tensión máxima de carga de baterías de 13.8V, que es la correspondiente a una temperatura de batería de 25 °C. En todas las baterías de la población, especialmente las de la escuela, no se observó excesivo consumo de agua destilada, produciéndose el primer agregado de agua a las mismas a partir de los dos años de operación de los sistemas, de acuerdo a lo previsto. La Tabla 6 muestra los valores de rendimiento Farádicos y Energéticos obtenidos de las mediciones en las baterías y el valor recomendado (Chenlo, 1992) para estos rendimientos. Evidentemente el rendimiento en el sistema SHS1 es mejor que el del sistema SHS2, porque hace un aprovechamiento más intensivo del mismo, al poseer mayor consumo. Los valores de rendimiento, en especial los energéticos, son buenos y no fue necesario realizar ninguna modificación al sistema para mejorarlos. Como en el sistema SSS el consumo nocturno es prácticamente despreciable respecto al consumo para el cual fue diseñado el sistema, las baterías han trabajado casi todo el tiempo en su máxima tensión y no han sido exigidas en ningún momento.

Tabla 6. Rendimiento Farádico y energético obtenidos y recomendados

<u>Sistema</u>	<u>Rendimiento Farádico (Ah)</u>		<u>Rendimiento Energético (Wh)</u>	
	Obtenido	Normal	Obtenido	Normal
SHS1	92 %	90 al 98 %	88 %	> 75 %
SHS2	90 %	90 al 98 %	84 %	> 75 %

Eficiencia de los Sistemas

Se realizó un seguimiento detallado de cada componente, observándose que funcionaron correctamente y conservaron un buen estado general. Previo a la instalación, se realizaron ensayos en laboratorio, de los reguladores, comprobando que cumplieran las especificaciones establecidas por los fabricantes y las exigencias de calidad establecidas en el diseño de los sistemas. La Tabla 7 muestra los valores de rendimientos de los sistemas y los factores de aprovechamiento, cobertura y adaptación. Estos valores fueron obtenidos a partir de las ecuaciones (1), (2), (3) y (4). Estos valores son útiles para un estudio en el largo plazo y para evaluar el funcionamiento de sistemas de estas mismas características en zonas con diferente radiación solar y diferentes consumos. El bajo índice de adaptación del sistema SSS se debe al sobredimensionamiento y no a fallas por déficit de energía.

Tabla 7. Evaluación de los sistema en base a sus rendimientos y factores

<u>Sistema</u>	<u>Rendimiento (η)</u>	<u>Factor de Aprovech. (μ)</u>	<u>Factor de Cobertura (v)</u>	<u>Factor de Adaptación (α)</u>
SHS1	9.22 %	70.4 %	100 %	70.4 %
SHS2	7.95 %	55.1 %	100 %	55.1 %
SSS	9.55 %	1.7 %	100 %	1.7 %

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que los sistemas acusaron una buena performance en cuanto a las consideraciones de calidad exigidas. Los componentes cumplieron las especificaciones provistas por los fabricantes. La incidencia del entrenamiento brindado a los usuarios se reflejó en el correcto uso y mantenimiento de los sistemas. Las hipótesis y parámetros de diseño adoptadas fueron apropiadas en las viviendas, no habiéndose cumplido en la escuela los correspondientes a la estimación de los consumos, sin embargo se comprobó una buena performance del sistema SSS. Se corroboró la influencia positiva de las estrategias aplicadas en la instalación de sistemas PV. Se prevé continuar con un estudio a largo plazo que considere el comportamiento de los sistemas en toda su vida útil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Duffie, J. A. and Beckman, W. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & sons, inc. New York (1991).
 Chenlo, F. Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica - CIEMAT - Madrid. (1992).
 Kaiser, R. Programa de simulación PVS. FhG-ISE. Freiburg. (1994).
 Pontoriero D, Blasco I, Serpa L., Hoese E. Morales R., Avila E, Trincado M. Flores S. Proyecto Piloto Balde de Leyes. Actas ASADES 94. Vol. 1, pp 85 - 92. Rosario (1994).

SILICIO NANOCRISTALINO COMO MATERIAL DE BASE EN CELDAS SOLARES

R.H.Buitrago*, J.Schmidt, R.Koropecski*, R.Arce, G.Risso, y M.Cutrerá.

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química

CONICET - UNL

Guemes 3450 - 3000 Santa Fe

TE / Fax : 54-42-55 9190 e-mail : rbuitre@intec.unl.edu.ar

*Facultad de Ingeniería Química - UNL

Sgo. Del Estero 2829 - 3000 Santa Fe

RESUMEN

Se presentan los primeros resultados obtenidos en la deposición de láminas delgadas de silicio nanocrystalino, utilizando toda la tecnología del silicio amorfo hidrogenado. Mediante la incorporación de hidrógeno en los gases de reacción y aumentando la potencia de R.F. se logran films compuestos por cristales de diámetro menor a 30 nm. Las propiedades electro-ópticas medidas en estos films lo muestran promisorio como material de base para dispositivos solares de simple o múltiple juntura.

INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento en 1977 del efecto "Staebler Wronski"(1) en el silicio amorfo hidrogenado, se dedicó un gran esfuerzo por parte de la comunidad científica internacional, para obtener un material estable bajo iluminación, especialmente en aplicaciones fotovoltaicas. Hasta ahora se han encontrado soluciones tecnológicas via estructuras de multijunturas (2), que si bien logran una celda solar estable con eficiencias mayores a un 13 %, se pierde terreno en la complejidad tecnológica de la multijuntura y en los costos de producción.

Publicaciones recientes sobre estudios realizados en silicio nanocrystalino (3,4) muestran que este material no se degrada como el silicio amorfo hidrogenado, y que por sus propiedades electro-ópticas tiene todo el potencial para convertirse en una nueva opción para dispositivos fotovoltaicos.

Por otro lado las tecnologías de producción del silicio amorfo eran candidatas para la producción masiva de sistemas fotovoltaicos de bajos costos. Con las mismas se puede producir silicio nanocrystalino, combinando las propiedades electrónicas superiores del nanocrystalino con las ventajas tecnológicas del amorfo. Más aún, la juntura interior "np" es crítica en la performance de una celda de multijuntura amorfa. Si se usa silicio nanocrystalino en esta juntura de recombinación, produce un mejoramiento notable en el dispositivo (2). Siguiendo en esta línea una aplicación importante del nanocrystalino podría ser como capa activa en una celda solar tipo "stacked", o simplemente una celda toda nanocrystalina.

Se detectaron dos problemas técnicos mayores en la ingeniería del silicio nanocrystalino, primero una muy baja velocidad de deposición, y segundo un comportamiento en la nucleación altamente dependiente del sustrato.

Velocidad de deposiciones típicas para la técnica de descarga luminiscente a 13,56 MHz son del orden de 0,3 A/seg. Con esta velocidad de crecimiento, para depositar la capa activa de silicio nanocrystalino en una celda de multijuntura, con espesor de uno a dos micrones, esta fuera de los límites aceptables comercialmente. Recientemente se demostró en forma experimental, que aumentando la frecuencia de excitación del plasma hasta el rango de VHF (30 - 300 MHz) (6) o mediante técnicas de resonancia ciclotrónica (7) se puede aumentar en forma simultánea la velocidad de deposición y la cristalinidad manteniendo la temperatura en 200 °C.

La dependencia de la nucleación y crecimiento nanocrystalino del sustrato ha sido estudiada para una gran variedad de materiales tales como metales, vidrios y cerámicos. Se encontró las diferencias en términos de cristalinidad, porosidad, estructura columnar, inhibición de cristalinidad, o una capa amorfa de interfase (8,9). Esto significa que la nucleación del nanocrystal debe optimizarse para cada tipo de sustrato.

Como mencionamos arriba, el uso de VHF-PECVD presenta ciertas ventajas sobre el crecimiento del nanocrystalino, aumenta simultáneamente la velocidad de deposición, la fracción volumétrica y el tamaño de grano cristalino, los trabajos realizados hasta ahora se concentran en las propiedades del volumen y poco o nada se ha investigado sobre el efecto del sustrato.

En el presente trabajo describimos nuestros primeros resultados en la preparación de silicio nanocrystalino, utilizando toda la infraestructura de deposición de silicio amorfo hidrogenado, en un reactor de plasma tipo PECVD, evitando el mismo con frecuencias altas de 50 MHz. Todas las mediciones se realizan confrontando con las obtenidas para amorfo para

verificar si las propiedades electro-ópticas del nanocristalino son mejores que las del amorfo para su uso como material de base en celdas solares.

PARTE EXPERIMENTAL

Se utilizó un reactor de R.F. de placas paralelas, de unos 20 cm de diámetro y una separación de electrodos de 1 cm, con acople capacitivo. El sistema dispone de caudalímetros máxicos de alta precisión, de un controlador de temperatura de sustrato, una válvula tipo "down-flow" para control y estabilización de la presión de descarga.

Como la deposición de los nanocristalinos requiere trabajar en altas diluciones de hidrógeno, se diseñó una cámara de preparación de soluciones conectada en paralelo al reactor de PECVD. La concentración de las soluciones se determina por medidas de la presión absoluta en la cámara.

Para preparar silicio nanocristalino intrínseco (capa "i" de una celda pin) se realizaron series de deposiciones sobre vidrio Corning 7059 y vidrios portaobjeto comunes, trabajando a 600 microbar de presión total, 200-220 °C de temperatura de sustrato, 92-98 % de dilución del Silano con hidrógeno, a 50 MHz de frecuencia de excitación de plasma y con potencias de R.F. mayores a 36 W.

Para depositar carburos de silicio nanocristalino dopados con Boro (capa "p") se prepararon soluciones 2-12 % de metano en silano, a la que se diluyó luego con hidrogeno hasta 95 %. El resto de las condiciones similares al del nanocristalino intrínseco, salvo el rango de temperaturas de sustrato que fue de 180-200 °C.-

Todos los films fueron caracterizados por mediciones de su conductividad a oscura en función de la temperatura, su fotoconductividad a temperatura ambiente, su estructura cristalina por difracción de Rayos X y Espectrometría de Raman, los coeficientes de absorción lumínica para todo el rango visible por la técnica de fotocorriente constante (CPM), y los espesores de láminas a partir del espectro de UV-Vis siguiendo el método de Swanepoel (10).

RESULTADOS

En la figura 1 podemos observar un espectro de Raman obtenido con una longitud de láser de excitación de 531 nm. Para una muestra nanocristalina y otra amorfa. Ambas muestras fueron depositadas en el mismo reactor bajo condiciones operacionales distintas de potencia de R.F. y dilución con hidrógeno. El cambio de forma e intensidad de la señal de Raman indica claramente la transición amorfa- cristalina, con un corrimiento en el máximo de los picos de 50 cm^{-1} . Los espectros de difracción de rayos X para estas muestras solo exhiben un pico muy ancho propio de materiales amorfos, entre 24 y 40 grados. Esto significa que el tamaño de los cristales en el material nanocristalino es inferior a 20-30 nm, límite de detección de un difractómetro.

La velocidad de deposición obtenida para 50 MHz fue de 0,6 Å/seg. Aumentando la potencia de R.F. se logra llevarla a 0,8 Å/seg., pero comienzan problemas de falta de adhesión de los films al sustrato.

Las medidas del coeficiente de absorción realizadas por CPM se muestran para dos films en la figura 2. El silicio nanocristalino presenta un coeficiente significativamente mayor en el infrarrojo y ligeramente menor en la zona del visible y ultravioleta. Las energías de Urbach son similares pero la región correspondiente a la banda prohibida es inferior en el nanocristalino, reflejando una menor densidad de estados en la banda.

La variación de la conductividad a oscura en función de la inversa de la temperatura de dos films se muestra en la figura 3. Es notable el incremento de la conductividad en el nanocristalino, es mayor a cinco ordenes de magnitud superando incluso los valores de fotoconductividad del amorfo, bajo condiciones estándares de iluminación (AM1,5 y 82 mW/cm^2). El silicio nanocristalino no presenta efecto de fotoconductividad, en las condiciones de referencia estándares mencionados solo duplica su valor de conductividad. En la figura 3 también se indica las pendientes de las rectas, que en el caso del amorfo se interpreta como la energía de activación (E_a) del proceso de conducción pero en el nanocristalino aún es necesario desarrollar un modelo para su interpretación.

En la preparación de carburos nanocristalinos se observó que el carbono inhibe la nucleación y crecimiento de los cristales, para diluciones con relación $\text{C}1\text{H}4/\text{C}1\text{H}4 + \text{SiH}4$ de 2-9% se obtuvo films nanocristalinos con aumento de su banda prohibida desde 1,90 a 2,20 eV, y conductividades entre 0,1 y 0,01 (Ωcm)-1. Los carburos a diferencia del silicio nanocristalino intrínseco presentan una buena adhesión a los sustratos.-

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos son promisorios dado que efectivamente con toda la infraestructura de la tecnología del silicio amorfo, se preparan láminas delgadas de silicio nanocristalino, cuyas propiedades electro-ópticas son apropiadas para la construcción de dispositivos solares. Laboratorios internacionales ya informaron sobre celdas tipo pin con eficiencias del 4,6 % o del tipo doble juntura nano-amorfa con eficiencias del 10,6 % (11), con materiales que tienen características similares a las aquí presentadas. A partir de ahora queda desarrollar la tecnología para la preparación de dispositivos solares, mejorando dos aspectos todavía: la adhesión de los films y su velocidad de deposición.-

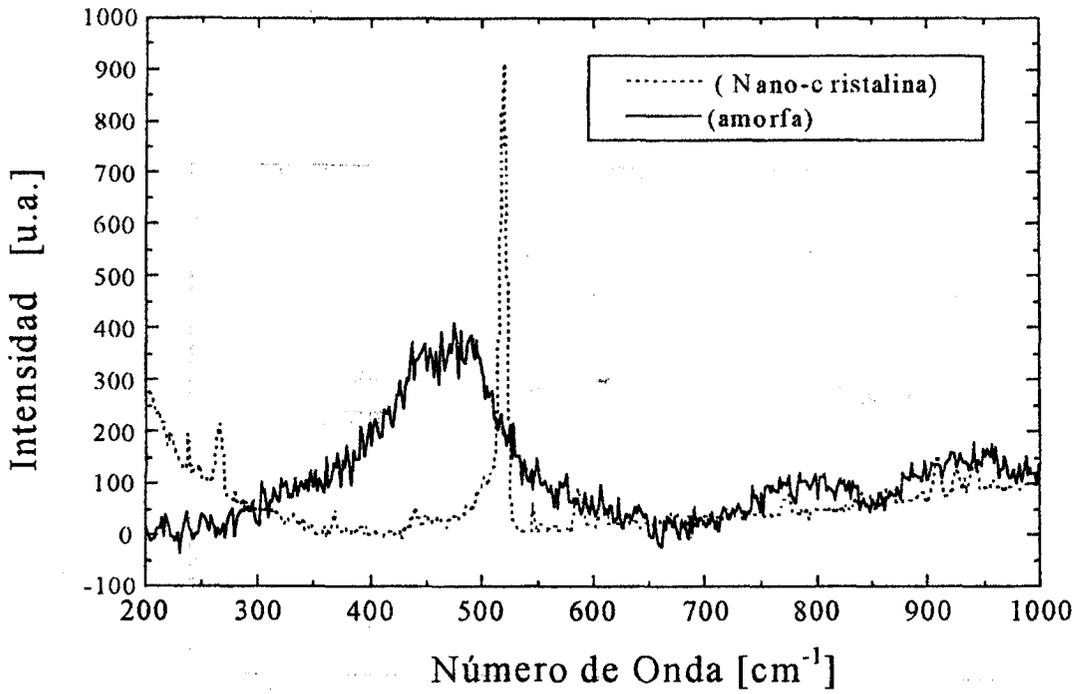


Figura 1: Espectro de Raman para dos muestras de Silicio, una nanocristalina y otra amorfa

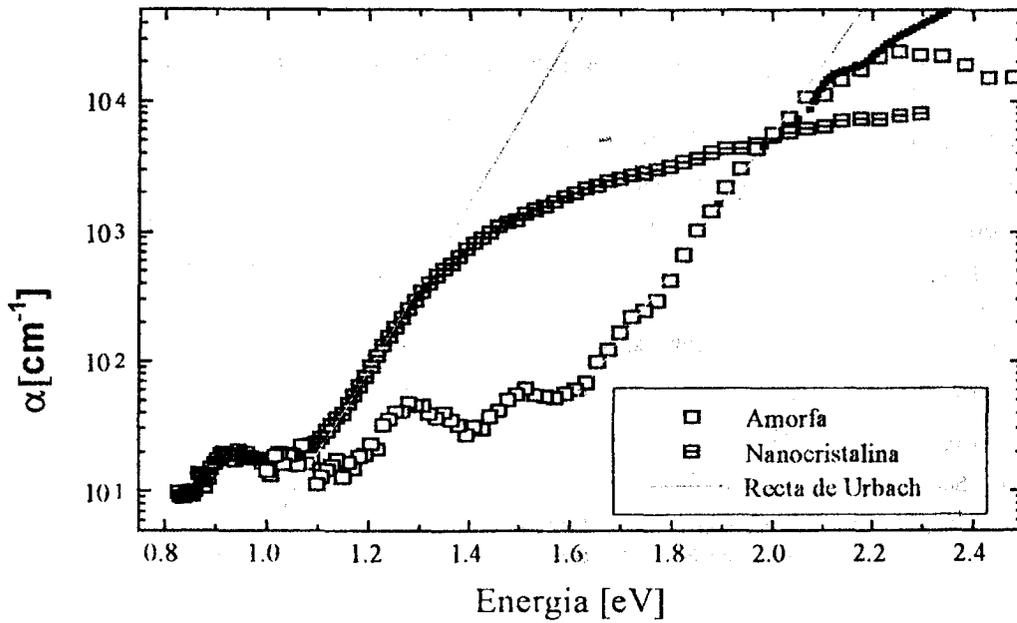


Figura 2: Coeficiente de absorción medido por CPM

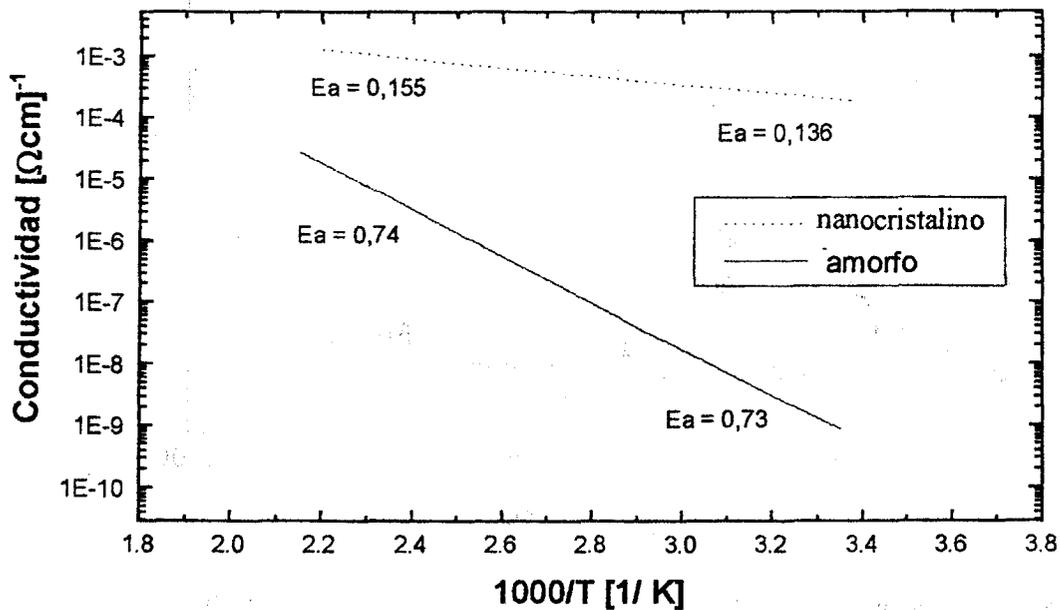


Figura 3: Conductividad a oscuras en función de la temperatura

REFERENCIAS

- 1.- D.L. Staebler, C.R. Wronski. Appl.Phys.Lett. 31, 292 (1977)
- 2.- J.Yang, A.Barnejee, T.Glatfelter, S.Sugiyama, S.Guha. Proceeding 26th IEEE PVSC, en Anaheim, California, EE.UU., Septiembre 29, 1997.-
- 3.- R.Fluckiger, J.Meier, M.Goetz, A.Shah. J.Appl.Phys. 77, 712 (1995)
- 4.- M.Tzolov, F.Finger, R.Carius, P.Hapke. J.Appl.Phys.81,7376 (1997)
- 5.- J.Meier, S.Dubail, J.Cuperus, A.Shah. Proceeding ICAMS 17, Budapest, Hungria, Agosto 1997.-
- 6.- F.Finger, M.Tzolov, P.Hapke, M.Luysberg, L.Houben, R.Carius, H.Wagner. Technical Digest of 8th Sunshine Workshop on Thin Film Solar Cells, Tokio, p.89, 1995.-
- 7.- M.Scheib, B.Schroder, H.Oechsner. J.NonCryst.Solid 198-200, 895 (1996)
- 8.- P.Roca I Cabarrocas, N.Layadi, T.Heitz, B.Drevillon. Appl.Phys.Lett.66,3609 (1995)
- 9.-W.Westlake, M.Heintze. J.Appl.Phys. 77,879 (1995)
- 10.- R. Swanepoel, J.Phys.E. : Sci. Instrum. 16, 1214 (1983)
- 11.- J.Meier, S.Dubail, D.Fischer, J.Selvan, N.Pellaton, R.Platz, Ch.Hoh, R.Fluckiger, U.Kroll, N.Wyrsh, P.Torres, N.Keppner, A.Shah, K.Ufert. 13th European Photovoltaic Solar Energy conference, Oct.1995, Nice, Francia.-

DESARROLLO DE PLATAFORMA PARA EVALUAR EL USO DE FOTOVOLTAICOS EN EDIFICIOS

Fabián Garreta, Jorge Marusic y Alejandro Pérez

Centro de Investigación Hábitat y Energía

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires.

CC 1785, Correo Central (1000) Capital Federal

Fax: 576-3205 - E-mail: fgarreta@mail.retina.ar - marusic@siscor.bibnal.edu.ar - harper@siscor.bibnal.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo tiene un objetivo fundamentalmente de carácter educativo con el fin de crear una herramienta de apoyo al diseño arquitectónico favoreciendo la conceptualización y la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios. La construcción de la plataforma y las maquetas de estudio se orienta a la rápida visualización de las posibilidades y restricciones que existen en la utilización de fotovoltaicos en edificios. Permite además, la verificación, ajuste y evaluación global y aproximada del uso de paneles en los proyectos a través de maquetas volumétricas.

INTRODUCCIÓN

Los fotovoltaicos producen energía eléctrica con bajo impacto ambiental, reduciendo notablemente el problema de la contaminación del medio ambiente, sin que esto necesariamente redunde en la integración armoniosa de sus áreas de captación e instalaciones con el edificio al que abastecen. La falta de integración trae aparejados problemas estéticos que interfieren en la capacidad de aceptación de la propuesta arquitectónica. Los primeros intentos realizados para proveer de energía fotovoltaica a pequeños edificios se resolvían ubicando los módulos fuera de la construcción apoyados directamente en el piso o, en el mejor de los casos, sobre los techos. Hoy reconocemos que existe una notable diferencia entre incorporar e integrar captadores solares a la arquitectura pero la necesidad de propiciar un desarrollo sostenido en la utilización de energía solar en la construcción requiere la propuesta de una nueva imagen, estéticamente más atractiva. La deseada integración entre las superficies captadoras y la morfología edilicia colisiona, en casi todos los casos, con el estereotipo de edificio que resulta de la relación comitente-profesional. Este parece ser uno de los mayores inconvenientes para el desarrollo de una arquitectura que se sustente en el mayor aprovechamiento de los recursos que ofrece el medio natural.

Desde el punto de vista del proyectista, la búsqueda de una integración armoniosa y estética debe aparecer a partir del conocimiento de las posibilidades y restricciones del uso de tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar aplicada a la etapa de diseño. De lo contrario, el resultado será una arquitectura que incorpora elementos capaces de solarizar algunas instalaciones, pero conceptualmente inconexa.

El uso de la plataforma con fines didácticos y como instrumento para el proceso de diseño, es aplicable principalmente en el caso de los estudiantes de la carrera de grado y posgrado, que con simulaciones demostrativas simples, pueden internalizar los conceptos básicos para una correcta utilización del recurso solar, como así también, utilizar maquetas volumétricas para evaluar las distintas posibilidades que ofrecen los proyectos y poder considerar o no la utilización de estos sistemas.

METODOLOGÍA DE USO

Un cálculo sencillo para estimar el área de captación necesaria para el proyecto permitirá un primer acercamiento a la superficie que se destinará a fotovoltaicos (Garreta, 1997), para poder armar un "minipanel" de la escala de la maqueta. El "minipanel" se construye con celdas rotas o de descarte que venden como "kit" para el armado de juguetes, cargadores de baterías o fines didácticos. Una vez estimada la carga eléctrica, realizado el cálculo de predimensionado del área de captación y el armado de una maqueta de estudio con un "minipanel" (construido con celdas de descarte) para colocarlo en la plataforma, permite visualizar posibles sombras u obstáculos y mejorar la integración formal de los fotovoltaicos al edificio.

La posibilidad de corregir pendientes y ajustar orientaciones, facilita la tarea de verificar y evaluar de la aplicación de estos sistemas durante la etapa de diseño. La utilización de un voltímetro y de un amperímetro posibilita la evaluación comparativa de la diferencia de potencial y la intensidad generada por el "minipanel" fotovoltaico. Esto toma verdadera importancia cuando se practican variaciones de inclinación en los paneles PV, cambios de orientaciones, sombras parciales o totales, cambios de latitud, estaciones, etc.

DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLATAFORMA DE ENSAYOS

Está constituida por una base para el apoyo de las maquetas, una estructura de soporte para las fuentes de iluminación que simula la trayectoria y la radiación solar que puede orientarse para diferentes latitudes, épocas del año y horas. Esto se completa con un tester que permite visualizar rápidamente las variaciones de energía de acuerdo a las diferentes situaciones de medición.

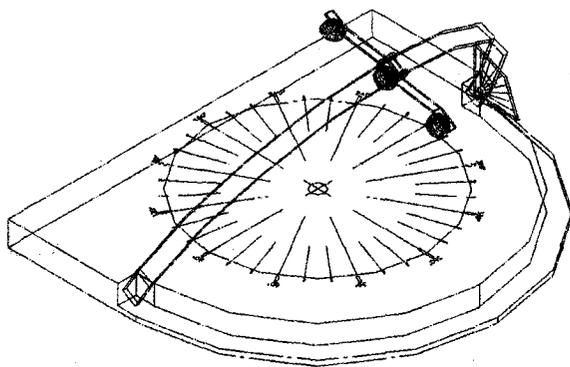


Fig. 1 Vista

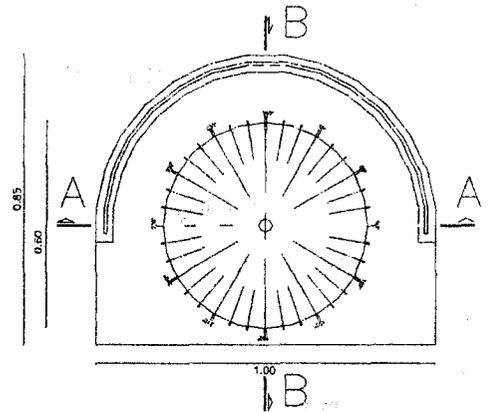


Fig 2 - Planta

La base es de madera y tiene forma plana con uno de sus lados en forma curva, que permite rebatir el simulador para hacer fácilmente transportable al conjunto, Figuras 1y2; además tiene llaves de encendido para las luces del simulador, una instalación eléctrica que permite el intercambio rápido de paneles y su colocación en distintas posiciones, una manija para su fácil transporte, y una tapa de idénticas dimensiones que la plataforma, Figura 7.

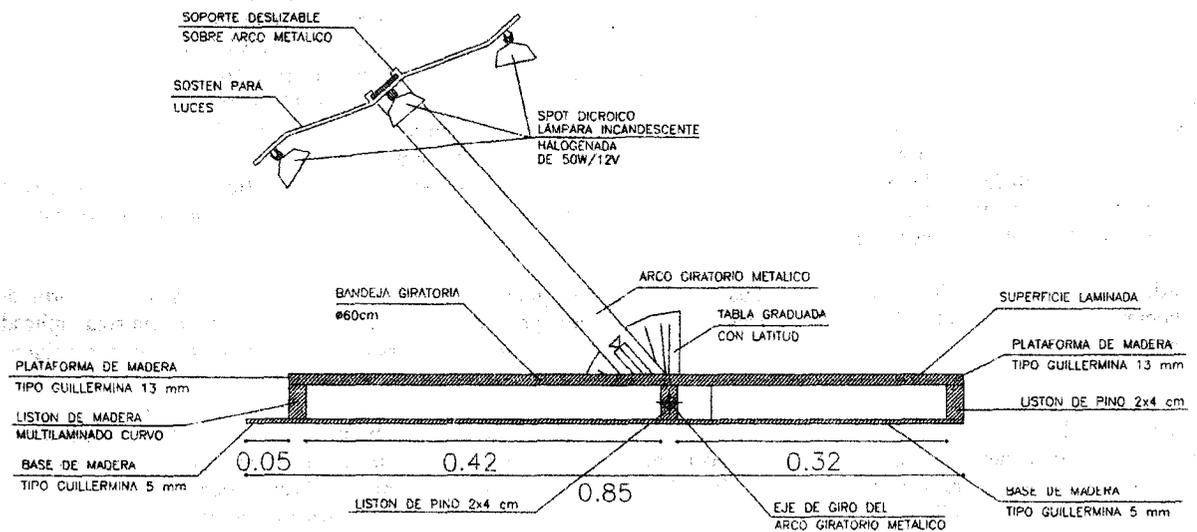


Fig 3 Corte B-B

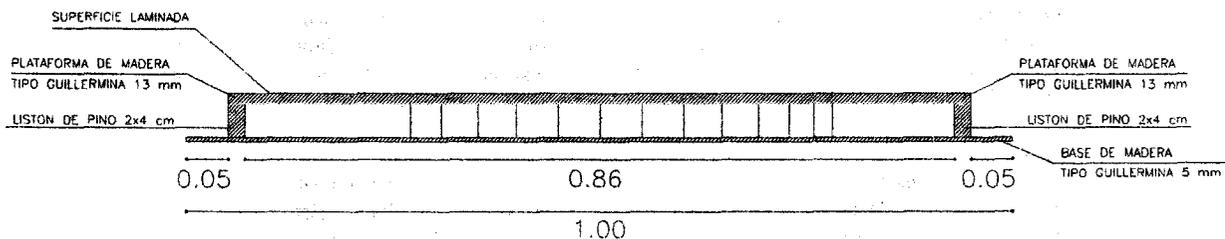


Fig 4 Corte A-A

La trayectoria solar está formada por un arco, Figuras 3 y 9, por el cual se desplaza un elemento que contiene tres lámparas halógenas de baja tensión simulando la radiación solar en los tres periodos del año más significativos, verano, equinoccio e invierno, que se encienden manualmente y en forma alternativa (ISOL, 1995). Estas se encuentran a distintas distancias para reproducir los efectos del espesor de la capa atmosférica, Figura 5.

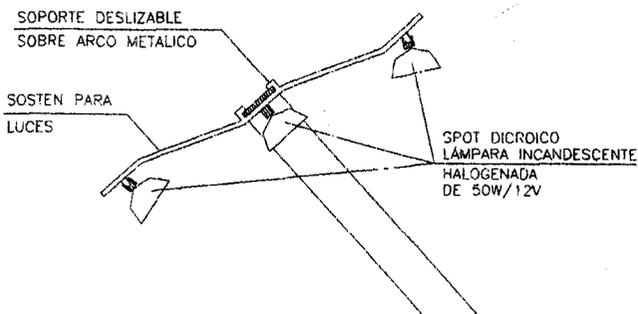


Fig. 5 - Luces

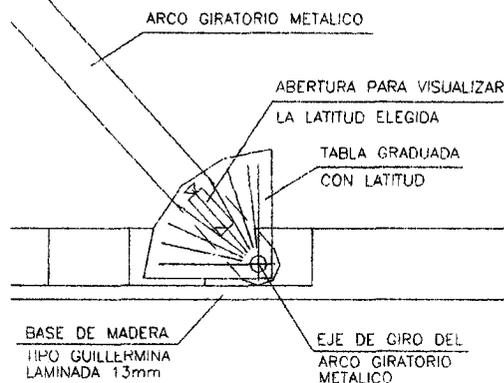


Fig. 6 - Tabla graduada con latitud

Las fuentes luminosas utilizadas son del tipo incandescentes halógenas bipín de reflector dicróico, ya que es el que más se aproxima a las necesidades requeridas para el ensayo; la radiación emitida por las lámparas permite lograr una aproximación a las variaciones de radiación solar natural necesarias, Figura 8.

Mediante un tester se realizan mediciones alternativas de tensión e intensidad suministradas por los paneles fotovoltaicos. De esta forma se obtiene una rápida evaluación de las condiciones de funcionamiento de los paneles entre las distintas formas en que pueden ser instalados. Para las conexiones se utiliza una instalación intercambiable que brinda flexibilidad en el momento de realizar ensayos con distintos paneles y/o ubicaciones.

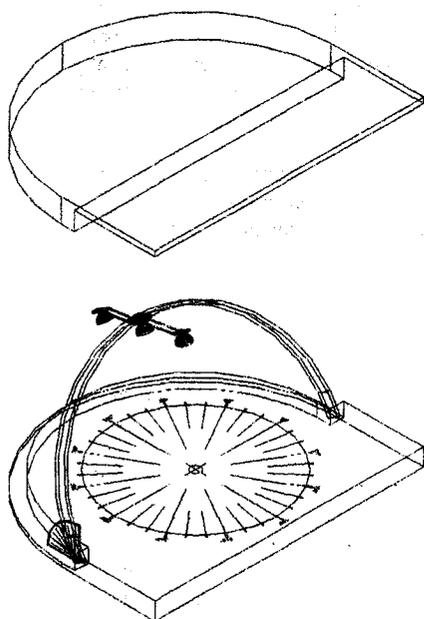


Fig. 7

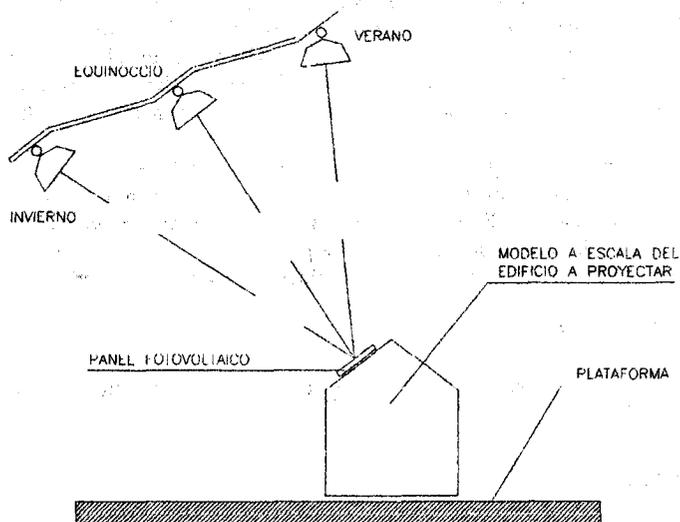


Fig. 8 - Esquema de funcionamiento.

Los ensayos se realizan con maquetas volumétricas preferentemente durante la etapa de diseño del edificio, permitiéndonos de esta manera ajustar tanto la arquitectura como el emplazamiento del sistema fotovoltaico.

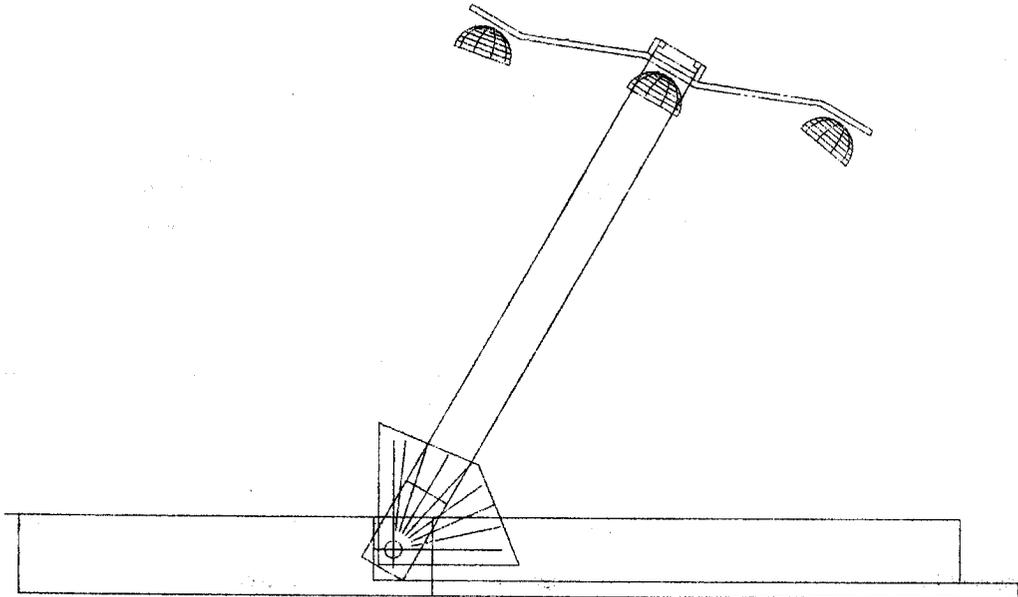


Fig. 9 - Vista

Debido a las dimensiones de la base, el tamaño de las maquetas no debe superar los 25cm para que sea posible su ensayo dentro de condiciones aceptables.

CONCLUSIONES

El desarrollo tecnológico que ha generado nuestra civilización en las últimas décadas y su exagerada demanda de energía plantea la necesidad de incorporar en la formación de profesionales de la construcción, los conocimientos e instrumentos necesarios para verificar y evaluar la utilización de energías limpias por medio de herramientas sencillas aplicables al proceso de diseño. Organismos internacionales, gobiernos, ONG, empresas, profesionales, etc., han puesto interés en el cuidado y control del medio ambiente ayudando al desarrollo financiero y a la difusión de la tecnología fotovoltaica.

Los avances tecnológicos que se han venido realizando, en especial en esta última década, reclaman el aporte creativo de los diseñadores para considerar a los paneles fotovoltaicos como un material más de la construcción, que los integren al lenguaje y a la estética del edificio, realizando rigurosos estudios previos durante el proyecto, para lograr eficiencia a través de una propuesta de diseño que sea capaz de globalizar todas las cuestiones que hacen a una arquitectura que no incremente, en forma descontrolada, los problemas ambientales de hoy y de mañana.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se relaciona con el Proyecto "Sustainable Cities" del programa THERMIE-B con financiación parcial de la Unión Europea.

REFERENCIAS

- ISOL (1995), programa de cálculo de la geometría solar desarrollado por CIHE.
- Garreta, F (1997), Cálculo de predimensionamiento, inversión y tiempo de amortización para verificar y evaluar el uso de módulos fotovoltaicos en edificios, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 1, No. 2, 1997, pp 9-11.

ABASTECIMIENTO ELECTRICO A UNA GRANJA LECHERA AISLADA BASADO EN ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Roberto Horacio Manno

Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería
Ruta Nacional 36 km. 601, (5800) Río Cuarto - Córdoba
Tel. y Fax 058 676 246 - rmanno@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es conocer las alternativas de suministro energético basado en energía solar FV a una granja lechera aislada. Asimismo, ofrecer a los potenciales usuarios, una herramienta que les ayude a tomar decisiones sobre la conveniencia o no de asignar recursos económicos a estos emprendimientos teniendo en cuenta que ellos permitan mejorar sustancialmente la capacidad de producción, bienestar y rentabilidad, y preservando el medio ambiente. En síntesis, generar una mejor calidad de vida.

Se determinó la radiación solar global sobre superficie inclinada, el perfil de carga diario y anual, y las características de los tres grandes subsistemas, llamados: campo de paneles, baterías y acondicionamiento de potencia. Posteriormente se calculó el costo para las distintas variantes.

En los casos analizados el costo es muy variable, por ello se debería considerar la posibilidad de instalar el sistema en varias etapas, confeccionar un Sistema FV Híbrido u otra fuente alternativa.

INTRODUCCION

Muchas veces, hablar de diseño y dimensionado de sistemas FV queda reducido a calcular el número de paneles y el tamaño de la batería del sistema. El concepto de diseño es más amplio y engloba a todas aquellas tareas y especificaciones que se deben tener en cuenta para que el sistema funcione satisfactoriamente, al menor coste y con la mayor fiabilidad técnica. Dentro de esas tareas está el calcular el tamaño óptimo de la instalación. Por lo tanto, hablar de diseño es hablar de un concepto más amplio que el de dimensionado.

Los principales factores involucrados en el diseño y ejecución de los sistemas FV son: la radiación solar, temperatura ambiente, características de la carga, configuración del sistema, y características de los tres grandes subsistemas, llamados: campo de paneles, baterías y acondicionamiento de potencia. Los sistemas FV pueden ser representados como una función de transferencia, con la radiación solar como la entrada y las cargas eléctricas como la salida.

El objetivo del presente trabajo es conocer las alternativas de suministro energético basado en energía solar FV a una granja lechera, seleccionando aquella que sea óptima desde el punto de vista económico, social y del medioambiente. Asimismo, ofrecer a los potenciales usuarios, una herramienta que les ayude a tomar decisiones sobre la conveniencia o no de asignar recursos económicos a estos emprendimientos teniendo en cuenta que ellos permitan mejorar sustancialmente la capacidad de producción, bienestar y rentabilidad, y preservando el medio ambiente. En síntesis, generar una mejor calidad de vida. En este sentido, es que el proyecto puede considerarse como piloto demostrativo ya que permitirá extrapolar la metodología a otras zonas rurales con características geoambientales similares y con ello disminuir las demoras y dificultades a la hora de tomar decisiones concretas, desde el punto de vista económico y técnico.

MATERIALES Y METODOS

CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Ubicación

El área de estudio se encuentra en el Depto. Río Cuarto, Provincia de Córdoba (Latitud 33° 03' S y Longitud 64° 16' W).

Restricciones del lugar

En la zona rural de la región Centro-Sur de la Provincia de Córdoba, se dispone de un amplio conocimiento sobre tecnologías de producción agrícola-cárnica y láctea. Sin embargo, no hay acceso a estas tecnologías para maximizar los procesos de transformación agroindustrial de las materias primas producidas en la región. Estos procesos, principalmente no se realizan debido a que el costo de llevar la energía eléctrica desde la red más cercana resulta en la mayoría de los casos, antieconómico o imposible. Por otra parte, muchos de ellos realizan las tareas en forma manual o con la ayuda de generadores diesel o calderas alimentados con combustibles convencionales con la consiguiente baja rentabilidad y riesgo de contaminación del medio ambiente. Entendiendo a este último como el espacio vital en el cual un "conjunto de factores físicos, sociales, culturales, económicos y estéticos que afectan al individuo y a las comunidades, determinan su forma, carácter, relación y supervivencia". (NEPA: National Environment Policy Act, U.S.A.).

Radiación solar y condiciones climáticas

Los valores de radiación solar de la Región Sur de la Provincia de Córdoba fueron tomados de Barral (1994) [1]

Las características climáticas de la región fueron establecidas por Cantú (1998) [2] a partir de los datos de la Estación Meteorológica Eo. Los Chafiares ubicada en: Latitud: 33° 01' 45" S; Longitud: 64° 43' 15" W, y la altura de 775 m.s.n.m. La serie corresponde al período 1941-1994. Temperatura media anual=16.5°C, Temperatura máxima media=22.9°C (Enero), Temperatura mínima media=9.18°C (Julio), Precipitación media anual=909 mm y Velocidad del viento (con ráfagas de más de 100 km/h).

El método utilizado para determinar la radiación global sobre superficie inclinada fue establecido por Duffie (1991) [3], Imamura (1992) [4] y adaptado por Manno (1998) [5]. Para la determinación del perfil de carga anual se confeccionaron los correspondientes perfiles de carga diarios considerando un establecimiento rural lechero, centrándose el análisis en los consumos de la vivienda, del sistema de ordeño y enfriamiento de la leche.

La vivienda está conformada por tres dormitorios, salón, cocina, aseo, televisor, pequeños electrodomésticos, radio, lavadora sin calentador de agua, luz exterior y heladera. Se estima su ocupación por seis personas en verano y cuatro en invierno. Y el tambo está constituido por una ordeñadora automática, una electrobomba para la limpieza de las instalaciones y una enfriadora de leche.

RESULTADO Y DISCUSION

Radiación global sobre superficie inclinada

A partir de los datos de radiación global diaria se determinó la radiación global sobre superficie inclinada para $5^\circ \leq \beta \leq 65^\circ$ (Tabla 1).

kWh/m ²	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°
ENE	6.60	5.80	5.77	6.42	6.65	5.92	5.02	4.93	5.42	5.40	4.46	3.47	3.35
FEB	5.90	5.40	5.48	6.17	6.49	5.97	5.28	5.30	5.83	5.90	5.14	4.34	4.29
MAR	4.90	4.60	4.85	5.56	5.97	5.69	5.27	5.42	5.96	6.13	5.62	5.06	5.10
ABR	4.00	3.90	4.27	4.94	5.39	5.33	5.16	5.38	5.89	6.11	5.83	5.5	5.58
MAY	3.00	2.90	3.27	3.92	4.37	4.34	4.22	4.48	5.00	5.25	5.04	4.79	4.92
JUN	2.50	2.40	2.68	3.33	3.76	3.68	3.49	3.73	4.28	4.53	4.28	4.00	4.15
JUL	2.80	2.40	2.61	3.23	3.62	3.43	3.16	3.42	4.06	4.31	4.16	3.92	4.23
AGO	3.20	2.70	2.88	3.72	4.19	3.78	3.21	3.41	4.17	4.44	3.86	3.23	3.41
SET	4.00	3.20	3.36	4.31	4.8	4.17	3.35	3.50	4.37	4.64	3.82	2.96	3.13
OCT	4.90	3.90	3.96	4.94	5.39	4.56	3.52	3.60	4.48	4.69	3.67	2.61	2.72
NOV	5.80	4.70	4.68	5.55	5.9	4.98	3.84	3.80	4.58	4.68	3.56	2.39	2.40
DIC	6.00	5.00	4.92	5.75	6.05	5.12	3.98	3.91	4.63	4.69	3.56	2.39	2.37

Tabla 1: Radiación Global sobre superficie inclinada

En ella se observa que los valores máximos de radiación global en superficie inclinada se encuentran para $\beta = 25^\circ$ en los meses de verano y para $\beta = 50^\circ$ en los meses de invierno.

Demanda energética

Sobre la base de registros proporcionados por el propietario del establecimiento sobre producción láctea y consumo energético total, y mediciones realizadas de consumo de la ordeñadora (5.86 kWh/día) y de la electrobomba de limpieza (184 Wh/día) (supuestos constantes a lo largo del año), se obtuvo el valor correspondiente al consumo de la enfriadora (7.8 kWh/día).

Perfil de carga

En este estudio se analizaron los perfiles de carga diaria para ordeñadora conectada y no conectada al sistema FV, contemplando las siguientes variantes:

- a.1 Establecimiento sin enfriadora y recogida diaria, con dos ordeños en verano y un ordeño en invierno.
- a.2 Establecimiento sin enfriadora y recogida diaria, con dos ordeños en verano y dos ordeños en invierno.
- b.1 Establecimiento con enfriadora y recogida cada dos días, con dos ordeños en verano y un ordeño en invierno.
- b.2 Establecimiento con enfriadora y recogida cada dos días, con dos ordeños en verano y dos ordeños en invierno.

Obteniéndose los valores de demanda de energía para los períodos de verano e invierno (Tabla 2).

		KWh/día	VERANO	INVIERNO
Con ordeñadora	a.1		7.51	4.54
	a.2		7.58	7.48
	b.1		15.46	10.42
	b.2		15.46	14.28
Sin ordeñadora	a.1		1.45	1.51
	a.2		1.51	1.51
	b.1		9.39	7.39
	b.2		9.39	8.21

Tabla 2. Demanda energética diaria

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 2, se confeccionaron los correspondientes perfiles de carga anual (Figura 2).

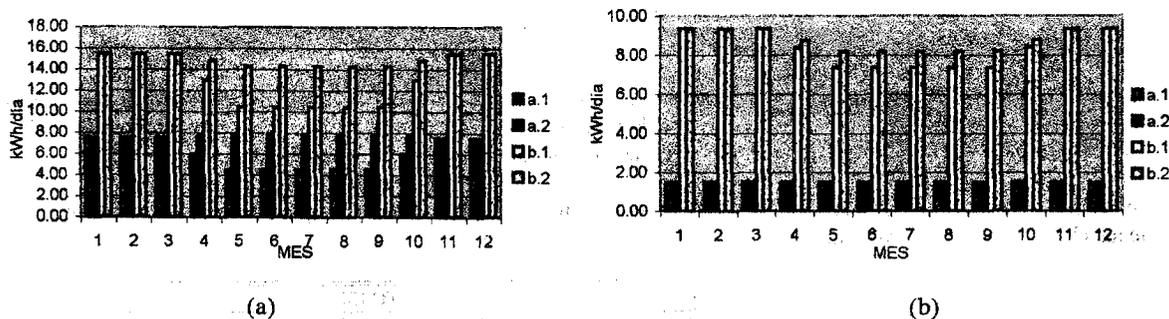


Figura 2: Perfil de carga anual. a) con ordeñadora, b) sin ordeñadora

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FV

Subsistema de captación

Los módulos utilizados en este estudio son de Potencia máxima (P_p) = 120 W, con una tensión de trabajo de 12V para el caso "a" y 48V para el caso "b", un rendimiento del módulo FV = 9%, con un rendimiento total del sistema = 85 % y una superficie efectiva = 77 %. Asimismo, se analizó la posibilidad de orientarlos en una inclinación fija durante todo el año $\beta = 40^\circ$, y en dos inclinaciones diferentes, para los meses de verano $\beta = 25^\circ$ y para los meses de invierno $\beta = 50^\circ$ (Tabla 3).

		NUMERO DE PANELES	
		UNA INCLINACION	DOS INCLINACIONES
Con ordeñadora	a.1	27	18
	a.2	27	21
	b.1	52	36
	b.2	52	40
Sin ordeñadora	a.1	5	4
	a.2	5	4
	b.1	32	24
	b.2	32	24

Tabla 3. Número de paneles necesarios

Subsistema de acumulación

El banco de baterías se determinó para acumuladores de plomo-ácido de 12V / 200Ah C-100, con una autonomía de 1 a 5 días (debido a que en la región es el máximo de días de poca o nula radiación), profundidad de descarga = 75 %, y rendimiento del sistema = 85 % (Tabla 4).

		Autonomía		1	2	3	4	5	días
		a	b						
Con ordeñadora	a	CB		982	1936	2945	3927	4908	Ah
		Baterías		5	10	15	20	25	C/U
	b	CB		505	1010	1516	2021	2526	Ah
		Baterías		12	20	32	44	52	C/U
Sin ordeñadora	a	CB		197	395	592	790	987	Ah
		Baterías		1	2	3	4	5	C/U
	b	CB		307	614	921	1227	1534	Ah
		Baterías		8	12	20	28	32	C/U

CB= Tamaño del sistema de acumulación.

Tabla 4. Número de baterías necesarias

Acondicionamiento de la energía

La transferencia de energía desde el campo de módulos FV a las baterías es totalmente automática, y se realiza con controladores de carga de uso comercial de características acordes a cada caso establecido.

En el caso "a" el suministro de energía para la vivienda se realiza en 12Vcc y el tambo en 220 Vca. Según se deduce del perfil de carga, la máxima potencia en corriente alterna está determinada por el consumo de la ordeñadora que es de $P_{m\acute{a}x} = 1470$ W. Para este tipo de carga, donde se necesitan en el momento de arranque una potencia muy superior a la nominal, el inversor seleccionado para acondicionar la tensión, debe tener una potencia de salida = 1500 W, una Tensión de salida = 220 Vca y una eficiencia = 94 %.

En el caso "b" el suministro de energía para toda la carga se realiza en 220Vca. Según se deduce del perfil de carga, la máxima potencia instantánea es de $P_{m\acute{a}x} = 1970$ W. Para este tipo de carga, donde se necesitan en el momento de arranque una potencia muy superior a la nominal, el inversor seleccionado para acondicionar la energía debe tener una potencia de salida = 2500 W, una tensión de salida = 220 Vca y una eficiencia = 96 %.

COSTO DEL SISTEMA FV

Para determinar el costo del sistema FV, se consideró una vida útil para los equipos de los sistemas de captación y de acondicionamiento de la energía de 20 años, un tiempo de reposición de 5 años para las baterías y una autonomía de cinco días. Estos costos incluyen los gastos de instalación eléctrica y la puesta en funcionamiento del sistema.

El costo de la instalación FV para los distintos casos, se determinó teniendo en cuenta los precios orientativos del mercado local de los elementos constitutivos del sistema (Tabla 5).

		COSTO [\\$]	
		UNA INCLINACION	DOS INCLINACIONES
Con ordeñadora	a.1	39127	28237
	a.2	39127	31867
	b.1	71131	51771
	b.2	71131	56611
Sin ordeñadora	a.1	12487	11277
	a.2	12487	11277
	b.1	46911	37231
	b.2	46911	37231

Tabla 5. Costo del sistema FV

CONCLUSIONES

El costo del sistema FV sin ordeñadora conectada, es notablemente inferior al sistema con ordeñadora, por lo que, debido a la modularidad de los sistemas FV, se puede comenzar instalando una parte de la instalación y luego ampliarla.

La disminución de los costos en el sistema con dos inclinaciones diferentes durante el año, es de hasta un 38 % inferior que el costo del sistema de una sola inclinación.

En todos los casos, el costo se incrementa por el tamaño del acumulador para los cinco días de autonomía, por ello se debería considerar la posibilidad de confeccionar un Sistema FV Híbrido con un grupo electrógeno.

Por otra parte, se debería hacer un análisis comparativo entre la posibilidad de alimentar con un grupo electrógeno, con la red eléctrica convencional o con un generador eólico.

REFERENCIAS

- [1] Barral J., Adaro J., Lema A., Fasulo A. (1994) "Variables Climáticas de la Región Sur de Córdoba". 17° Reunión de trabajo de ASADES.
- [2] Cantú M., Becker A., Schiavo H. (1998) "La Fragilidad Natural del Suelo y el Uso del Territorio como Factores Condicionantes del Proceso de Erosión en la Región Pampeana Subhúmeda, Argentina". 16 th World Congress of Soil Science. Francia.
- [3] Duffie Y. A., Beckman W. A. (1991) "Solar Engineering of Thermal Processes, 2th". Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Imamura M. S., Helm P. (1992) "Photovoltaic System Technology". Commission of the European Communities. Bruselas, Bélgica.
- [5] Manno R., (1998) "Abastecimiento Eléctrico en una Explotación Ganadera en la Zona Rural de Río cuarto, Córdoba, Argentina", Tesis de Maestría, Universidad Internacional de Andalucía, La Rábida, Huelva, España.

EL USO DE LA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA EN AREAS URBANAS DE LA ARGENTINA

Manuel Fuentes^{1,2}, Silvia de Schiller¹, J. Martin Evans¹, Susan Roaf², Jenniy Gregory³, Alison Wilshaw³

¹Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires

²School of Architecture, Oxford Brookes University, Headington, Oxford, OX3 0BP, U. K. e-mail: mfuentes@brookes.ac.uk

³IT Power, The Warren, Bramshill Rd., Eversley, RG27 0PR, United Kingdom

RESUMEN

El área suburbana de Gran Buenos Aires esta en rápida expansión en la zona norte y sur. Las compañías eléctricas que deben proveer de energía eléctrica a los nuevos barrios enfrentan una situación problemática debido a la limitada capacidad de transmisión y distribución de la red eléctrica en regiones donde la demanda anterior era muy baja. La demanda pico de estos nuevos barrios es elevada, especialmente en verano, debido al indiscriminado uso de aire acondicionado. La curva de producción fotovoltaica coincide con el consumo simulado, permitiendo ventajas para las compañías eléctricas mediante el uso de electricidad fotovoltaica como herramienta de gestión de la demanda. En este trabajo, se analiza el potencial de electricidad fotovoltaica para proveer soluciones, así como estrategias, para el uso de esta tecnología en áreas urbanas de la Argentina.

INTRODUCCION

En Argentina, la tecnología fotovoltaica se usa en aplicaciones donde la red eléctrica no es factible (aplicaciones móviles), o en regiones remotas donde la extensión de la red eléctrica es demasiado costosa (electrificación rural). Sin embargo, en Argentina, el sector doméstico urbano consume el 30% del total de la energía primaria usada en el país. Esto justifica que se preste especial atención al uso racional de la energía en el sector domiciliario y el posible uso de fuentes renovables de energías para reducir el consumo de combustibles contaminantes y su impacto ambiental. El consumo de energía eléctrica crece significativamente y los picos de consumo en el verano exceden los picos de consumo invernales. La tecnología fotovoltaica puede jugar un papel importante en reducir estos picos estivales. Los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios (PVIB) funcionan como pequeños generadores dispersos en áreas urbanas y presentan varias ventajas: no necesitan espacio adicional para su instalación, no requieren inversiones adicionales para infraestructura y tienen bajo costo de montaje.

Dado que la curva de producción fotovoltaica coincide con el pico de consumo por aire acondicionados, las compañías eléctricas pueden ser también beneficiadas debido a la reducción del pico de consumo y la consecuente reducción en los costos de generación, menor inversión en la red de distribución y reducción de los costos de transmisión. Esto significa que se puede evitar o postergar el redimensionamiento de las líneas de transmisión y distribución que están al borde de su capacidad operativa si una cantidad suficiente de energía fotovoltaica es generada en el punto de consumo para ser usada como ayuda al pico de demanda. El uso de tecnología PVIB es plausible debido a la construcción de nuevas viviendas y edificios comerciales.

Una encuesta necesaria para comenzar un programa nacional de PVIB se realiza bajo el auspicio del programa Thermie, de la Unión Europea. Esta encuesta identificará a los actores principales, analizará el estado de conciencia que los consumidores tienen de los beneficios que brinda la tecnología fotovoltaica y definirá los pasos estratégicos que han de llevarse a cabo para implementar dicho programa.

EL POTENCIAL FOTOVOLTAICO

Para poder analizar el potencial de la tecnología fotovoltaica en Buenos Aires, o para analizar el costo beneficio de la tecnología fotovoltaica, es importante conocer la energía solar incidente y el costo de la energía eléctrica convencional desplazada por la electricidad solar. Las tarifas eléctricas fueron obtenidas de una de las compañías eléctricas del Gran Buenos Aires [1]. La Tabla 1 muestra las tarifas eléctricas usadas por la compañía eléctrica para los consumidores del Gran Buenos Aires. La tarifa T1R1 corresponde a pequeñas residencias que consumen menos de 150 kWh/mes, T1R2 a consumos de más de 150 kWh/mes y la T1G1 se aplica a edificios de uso general (industrial o comercial) que consumen menos de 1600 kWh/mes. La Tabla 1 indica que el costo de electricidad no es alto, pero los impuestos a su consumo son elevados. Los impuestos van desde 38% a 43%, dependiendo del área donde este ubicado el consumo.

Tabla I: Tarifas para la compra y venta de electricidad en el Gran Buenos Aires.

Tipo y código	Disponibilidad	Monto mensual (en \$)
Tarifa T1R1 (Doméstico)	Continua	\$2.20 (fijo) + 8.9 centavos/kWh
Tarifa T1R2 (Doméstico)	Continua	\$7.90 (fijo) + 5.0 centavo/kWh
Tarifa T1G1 (General)	Continua	\$4.00 (fijo) + 10.7 centavos/kWh
Valor mayorista de la electricidad	Continua	4.5 centavos/kWh

El término "mayorista" usado en la Tabla, se refiere al costo de la energía eléctrica para la propia compañía eléctrica.

La energía solar incidente promedio en verano es de 6.29 kWh/día, en invierno es de 3.02 kWh/día y en otoño/primavera es de 6.02 kWh/día. Es importante cuantificar el valor de la electricidad producida por los sistemas fotovoltaicos. Siguiendo la definición de Kiss et al [3], se define el *Valor Fotovoltaico* multiplicando el valor de la energía eléctrica (en \$) por la energía generada por estos sistemas. El resultado de este cálculo es, para el Gran Buenos Aires, 21 \$/m²/año, que es un valor equivalente al de Phoenix (USA) [3].

LOS USOS POTENCIALES DE LA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA EN EDIFICIOS

En el corto y mediano plazo, las aplicaciones que se prevén para la tecnología fotovoltaica entregada a edificios son:

- **Aplicaciones "urbanas" aisladas**, como residencias en las islas del Delta del Paraná donde hay problemas en extender la red de manera económicamente viable. Estas aplicaciones implican sistemas aislados con capacidad de almacenamiento y dimensionamiento de los sistemas de manera tal de cubrir la demanda en los periodos críticos del invierno.
- **Edificios suburbanos** en las zonas de extensión del Gran Buenos Aires, donde la capacidad de la infraestructura eléctrica existente esta cerca al pico de demanda. En este caso, sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica son una solución técnicamente posible. Los sistemas de este tipo son dimensionales para alcanzar su máxima producción anual (maximizando las ventajas económicas del propietario) o para minimizar el uso de la red eléctrica existente (maximizando los beneficios de la compañía eléctrica) o una combinación de ambas estrategias.
- **Edificios en torre** permiten una disminución del pico de carga y el uso simbólico de fotovoltaicos para dar una imagen "verde". El costo de módulos fotovoltaicos comienza a ser competitivo con ciertos materiales para fachadas.
- **Edificios especiales**, sistemas de seguridad robustos, actividades y equipamientos que son vulnerables a cortes de energía eléctrica, y que necesitan ser independientes de la red eléctrica, especialmente donde ésta no es estable. Si bien las UPS convencionales son más económicas que los sistemas fotovoltaicos, éstos proveen una cobertura permanente.

Curvas de carga

Las Figuras 1-3 muestran las típicas curvas de carga para cada banda tarifaria comparadas con la potencia generada. Estas figuras son resultado de una encuesta realizada durante los últimos años [1]. La potencia generada por sistemas fotovoltaicos conectados a red, de entre 850W y 1200W de salida, inclinados con el ángulo de la latitud de Buenos Aires, orientados al norte y con eficiencia del 10% fueron simulados con una frecuencia horaria para diferentes épocas del año. Ninguna de estas curvas de carga incluye cargas por aire acondicionado.

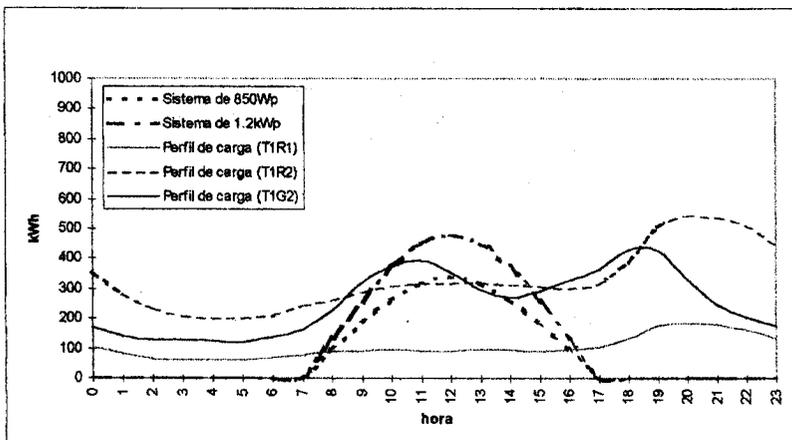


Figura 1: Curva de consumo y salida fotovoltaica para un día de invierno

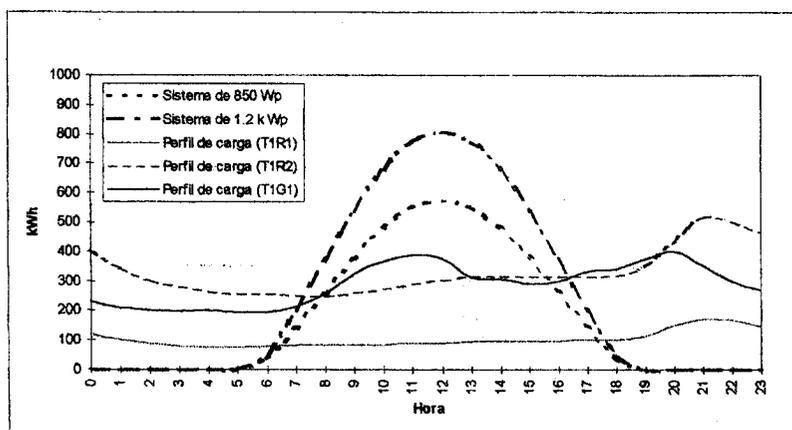
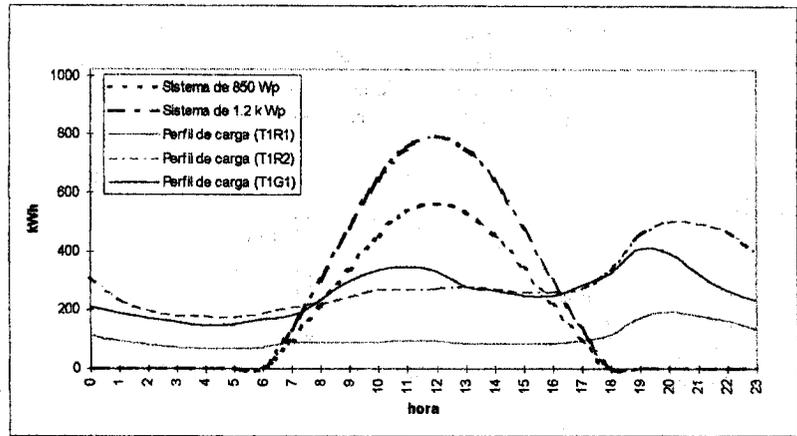


Figura 2: Curva de demanda y salida fotovoltaica para un día de verano.

Figura 3: Curva de consumo y salida fotovoltaica para un día de otoño / primavera.



Fotovoltaicos en residencias particulares

Los edificios del sector residencial que son apropiados para la integración de fotovoltaicos son casas de mediana y baja densidad en lotes individuales. La mayoría son proyectadas individualmente sin relacionan con las casas vecinas en apariencia o forma, con una gran gama de estilos de construcción y de materiales. Si embargo, se puede hacer la siguiente caracterización general:

- **Materiales:** El material predominante para el techado de casas particulares es la teja. La inclinación de los techos varía entre 20 y 30 grados menos que la inclinación óptima para el invierno, aunque más favorable para la producción eléctrica en el invierno. Son también común las chapas acanaladas, en cuyo caso la inclinación es menor que en el caso de las tejas.
- **Formas:** La mayoría de los techos del sector de clase media y media alta tiene una geometría compleja que tiende a la formación de sombras de un ala del techo con otra. Techos a dos aguas se encuentran en casas viejas y de clase media a media baja.
- **Sombras:** Debido al clima del Gran Buenos Aires, la vegetación es frondosa generando sombras indeseadas en techos de áreas residenciales. La protección de la masa arbórea puede reducir la producción fotovoltaica.

Potencialmente, las tejas pueden ser remplazadas por paneles fotovoltaicos sin ninguna dificultad técnica. Actualmente se fabrican diferente tipo de tejas "fotovoltaicas", con celdas solares incorporadas. En caso de optarse por paneles fotovoltaicos, las tejas pueden ser retiradas del techo de acuerdo al tamaño de los paneles, y toda diferencia dimensional o geométrica será resuelta con las técnicas normales de la construcción.

Fotovoltaicos en edificios de oficina

Otra aplicación potencial de los PVIB es la incorporación de los paneles fotovoltaicos en la fachada norte en edificios en torre.

- La demanda pico y la máxima generación fotovoltaica son casi simultáneas en edificios de oficinas.
- En este caso, son viables de implementar superficies fotovoltaicas verticales debido a la gran superficie disponible y la gran aceptación que tienen los paneles fotovoltaicos especialmente diseñados para fachadas, como terminación decorativa.
- Las dimensiones standard de los sistemas de cerramiento de fachadas permiten la integración directa de los paneles.
- En la mayoría de estos edificios, la carga eléctrica total es mayor que la potencia generada por los sistemas fotovoltaicos. Esto significa que solo pequeñas cantidades de electricidad son "exportadas" a la compañía eléctrica. Sin embargo, técnicamente, la posibilidad de exportar durante fines de semanas no presenta dificultades.

ESCENARIOS Y POSIBLES CONFIGURACIONES DEL SISTEMA

El tamaño de los sistemas estudiados va desde 0.5 kWp hasta 3 kWp. La Tabla 2 indica los costos estimados de estos sistemas. Fueron estudiados dos escenarios para un futuro uso de la tecnología fotovoltaica:

1. Fotovoltaicos conectados a red, que exportan electricidad a la compañía eléctrica a precio mayorista (4.5 centavos/kw/h)
2. Fotovoltaicos conectados a red con *medición neta*, es decir, la electricidad se exporta al mismo precio que se la importa.

Tabla 2: Costos de los Sistemas fotovoltaicos en Argentina

Ítem	Costos
Modulo e instalación	\$ 9 por Watt
Inversor	\$1 por Watt
Medidor (opción 1)	\$350
Medidor (opción 2)	\$50
Manutención	\$0.1 por Watt

El análisis económico ha sido basado en el método del Período de Retorno (PBP), que no tiene en cuenta el valor del dinero como función del tiempo. Sin embargo, los cálculos realizados dan una clara estimación del tiempo que lleva recuperar la inversión inicial. El Período de Retorno esta dado por [4]:

$$PBP = \text{Capital Inicial} / (\text{Beneficios anuales} - \text{Gastos de O y M anuales})$$

En el numerador, Capital Inicial, se ha asumido que hay un costo desplazado de $\$/m^2$ que representa los materiales usuales de los techos domésticos. Los escenarios que se han tenido en cuenta consideran solo el sector doméstico. Se pueden realizar cálculos similares para edificios de oficinas, que tendrán un Período de Retorno menor ya que los costos desplazados serán mayores debido al costo relativamente más alto de las cortinas vidriadas en relación con los techos residenciales. Las Tablas 3-5 presentan un resumen el Período de Retorno para cada escenario.

Tabla 3. Período de retorno para La tarifa T1R1

Sistema PV (Wp)	Período de retorno (años) opción 1	Período de retorno (años) opción 2
500	47,38	31,82
850	51,48	31,60
1000	52,73	31,56
1500	55,31	31,47
2000	56,73	31,42
2500	57,66	31,40
3000	58,31	31,38

Tabla IV: Período de Retorno para la tarifa T1R2

Sistema PV (Wp)	Período de retorno (años) opción 1	Período de retorno (años) opción 2
500	60,73	56,63
850	60,30	56,25
1000	60,37	56,17
1500	60,67	56,01
2000	60,89	55,94
2500	61,05	55,89
3000	61,18	55,86

Tabla V: Período de Retorno para la tarifa T1G1

Sistema PV (Wp)	Período de retorno (años) opción 1	Período de retorno (años) opción 2
500	28,62	26,46
850	32,10	26,29
1000	33,83	26,25
1500	38,65	26,17
2000	42,16	26,14
2500	44,77	26,12
3000	46,82	26,10

El análisis realizado asume que toda la energía generada por los sistemas fotovoltaicos, y que es consumida on-site, tiene el mismo valor que la electricidad que se deja de comprar a la red, según el cuadro tarifario correspondiente. Los resultados muestran que si bien la medición neta no justifica económicamente el empleo de la tecnología fotovoltaica por sí sola, hace que la inversión sea más interesante desde el punto de vista económico. Para la opción 1, sin medición neta, a medida que el sistema fotovoltaico aumenta, el Período de Retorno se hace mayor. Esto se debe a que una mayor cantidad de energía eléctrica se exporta a un valor bajo. Contrariamente, para la opción 2, se ve que a medida que el sistema crece, el Período de Retorno disminuye, debido a que el costo y el valor de la energía eléctrica coinciden.

BARRERAS ACTUALES AL USO. PROXIMOS PASOS.

Entre las principales barreras que se le presentan a la tecnología fotovoltaica integrada a edificios en Argentina se incluyen:

- El alto costo y el costo "aparente" de las instalaciones fotovoltaicas.
- Barreras institucionales y técnicas para las conexiones a red de sistemas fotovoltaicos.
- Escaso conocimiento técnico y dificultad para obtener información sobre implicancias de diseño.
- La seria falta de conocimientos en el área de PVIB, aún entre los representantes de compañías proveedoras de módulos.
- La falta de liderazgo y apoyo del gobierno, y escaso apoyo político en una economía dominada por el cortoplacismo.

Los próximos pasos dirigidos a mejorar las posibilidades de alcanzar una efectiva aplicación de la tecnología PVIB en Argentina, incluyen las siguientes acciones complementarias:

- **Conexiones:** Se deberán negociar condiciones favorables para la conexión a red de sistema fotovoltaicos con las compañías eléctricas y con el Ente Regulador.
- **Demostraciones:** Se iniciaran proyectos demostrativos para mostrar el potencial de la tecnología fotovoltaica conectada a la red eléctrica y se deberá poner a prueba la calidad y la confiabilidad de la conexión. En este momento se estudian posibilidades concretas para desarrollar este tipo de proyectos.
- **Capacitación:** Un programa subsidiado por la Unión Europea denominado "*Sustainable Cities in Argentina*" se lleva a cabo en el país desde junio de 1997 y tiene como objetivo la capacitación de profesionales y estudiantes de arquitectura en el área de tecnología fotovoltaica integrada a edificios.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que bajo las actuales circunstancias, los sistemas fotovoltaicos integrados a techos no son económicamente viables. Incentivos económicos y una reducción en el costo de la energía fotovoltaica debido a su madurez tecnológica puede mejorar la situación. Por el momento, el énfasis debe ponerse no en los aspectos económicos sino en los beneficios adicionales, tales como el mejoramiento de la capacidad de distribución y transmisión de la red eléctrica, la reducción del impacto ambiental debido a la generación eléctrica de fuentes contaminantes, etc. Evaluar los beneficios de la tecnología PVIB en diferentes regiones climáticas es un desafío para arquitectos por su responsabilidad en la configuración del hábitat, teniendo en cuenta factores socioculturales, económicos, técnicos y estéticos.

REFERENCIAS

- [1] EDENOR, *Cuadro tarifario y análisis de carga*, private communication
- [2] Grossi Gallegos, H. et al, *Actualización de la evaluación de los datos de radiación solar obtenidos de la Red Solarimétrica*, Actas de la 10ma Reunión de Trabajo de ASADES, Salta, 1988.
- [3] Kiss, G. & Kinhead, J., *Optimal Building-Integrated Photovoltaic Applications*, NREL/TP-472-20339, Noviembre 1995
- [4] Camaño E. and Lorenzo E., *Photovoltaics in Grid-connected buildings: Energy flow and Economic Aspects*, Prog. Photovolt. 1, 135-143 (1995)

FERRAMENTAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Lauro de Vilhena B. Machado Neto*, Elizabeth Marques Duarte Pereira**, Roberto Schirm**
 Aline Bicalho**, Luis G. M. Oliveira**, Ricardo Aquino**,
 Flávio M. T. da Silva*, Helvécio B. de Oliveira*, Ivo H. de Pádua*, Rodrigo C. Ivo*
Grupo de Estudo em Energia da PUC Minas (GREEN-PUC Minas)

*Laboratório de Eletrônica de Potência-Departamento de Engenharia Eletrônica-PUC Minas
 Av. Dom José Gaspar, 500, P. 03, S. 104, 30.535-610, Belo Horizonte, MG, Brasil,
 Tel. +55-31-319.4115 Fax +55-31-319.4225 Email: lvilhena@pucminas.br

**Laboratório de Energia Solar-Departamento de Engenharia Mecânica-PUC Minas
 Av. Dom José Gaspar, 500, P. 19, 30.535-610, Belo Horizonte, MG, Brasil,
 Tel. +55-31-319.4387 Fax +55-31-319.4225 Email: green@pucminas.br

RESUMEN

Neste trabalho apresentamos procedimentos y herramientas para la caracterización completa de paneles fotovoltaicos. Como punto de partida, fueron obtenidas las curvas características provenientes por el fabricante. En un segundo momento fueron hechas coletas manuales de dados para la confección de las curvas características. A partir de las propiedades físicas de semiconductores el modelamento del panel fue establecido. El procedimiento establecido es muy fatigoso y reiterativo, podendo llevar a imprecisiones. Para la automatización deste procedimiento, lo siguiente sistema fue proyectado y montado: un conversor dc/dc permite realizar el control electrónico de carga resistiva; un computadora realiza el control cíclico de la variación de carga del panel. Un sistema de adquisición de dados permite la obtención de los parámetros en el panel. A partir desta coleta de dados automatizada un software constroe las curvas características.

1. Introdução

A Energia Solar vem ocupando seu espaço, de direito, como uma das mais limpas energias renováveis. Os Sistemas Fotovoltaicos, apesar do baixo rendimento e do alto custo, vem merecendo um atenção toda especial, pois a tendência é a elevação do rendimento na conversão fotovoltaica e a diminuição nos custos proporcionado pela Microeletrônica e pela Eletrônica de Potência.

O Grupo de Estudos em Energia da PUC Minas (**GREEN**) vem com este trabalho, "**Ferramentas para a Caracterização de Painéis Fotovoltaicos**", implantar uma Linha de Pesquisa e Desenvolvimento na área de Sistemas Fotovoltaicos. Nossos objetivos são apresentar ao público em geral, à Indústria e aos Governos Federal, Estadual e Municipal os benefícios da utilização de Sistemas Fotovoltaicos e pesquisar, desenvolver e manufaturar: Softwares e Hardwares para a caracterização de Painéis Fotovoltaicos, protótipos de Condicionadores de Energia para Painéis Fotovoltaicos, protótipos de Sistemas Fotovoltaicos Inteligentes e protótipos de Sistemas Fotovoltaicos para aplicações rurais.

Neste trabalho, específico, apresentamos procedimentos e ferramentas para a caracterização de Painéis Fotovoltaicos. Na primeira fase são apresentadas as curvas características fornecidas pelo fabricante, uma coleta manual de dados e o modelamento do painel a partir de suas propriedades físicas.

O procedimento estabelecido mostrou-se, entretanto, impreciso e tedioso. Para contornarmos estes problemas, propusemos a manufatura de um sistema automatizado para a coleta e tratamento estatístico de dados para painéis fotovoltaicos, que constituiu-se na segunda fase do projeto. Com os dados da coleta automática, partimos para a elaboração de um software, utilizando a linguagem C++Builder, para a confecção das curvas características. Para o tratamento estatístico dos dados utilizou-se o algoritmo de regressão polinomial.

2. Painel Fotovoltaico

O painel fotovoltaico utilizado é do Fabricante KIOCERA. Apresentamos na **Figura 01** a característica $V \times I$ de um Módulo Solar Multicristal de 45.3 W.

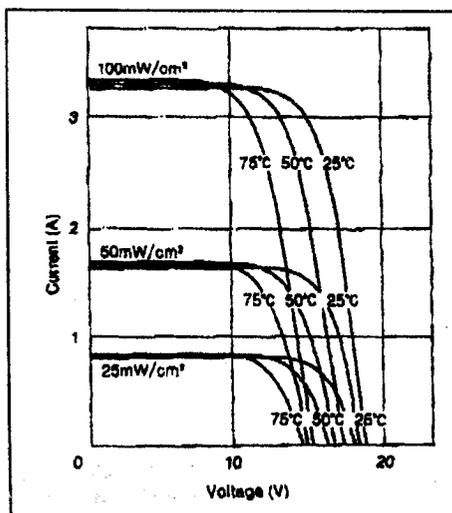


Figura 1 : Característica $V \times I$ (Módulo Solar)

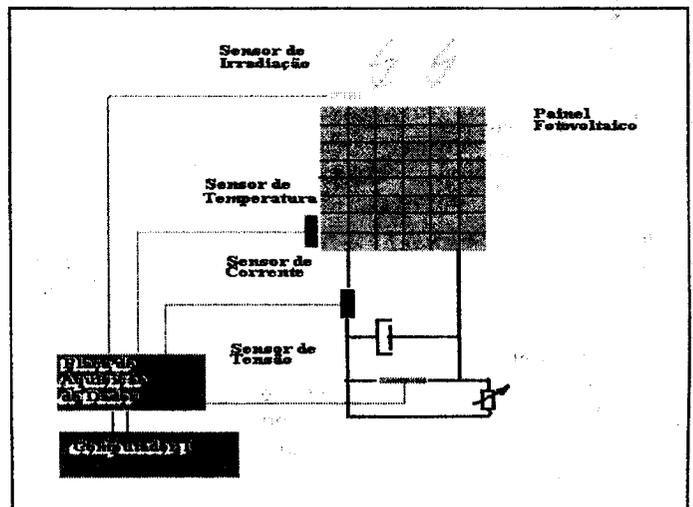


Figura 2 : Circuito utilizado na Coleta Manual de Dados

3. Coleta Manual de Dados

Em um segundo passo foram realizadas coletas manuais de dados para a confecção das curvas características. O objetivo básico deste procedimento é a comprovação das curvas fornecidas pelo fabricante; devemos destacar, também, o caráter didático deste procedimento, quando do primeiro contato dos alunos com a Conversão Fotovoltaica de Energia. Na Figura 02 apresentamos o circuito utilizado na coleta manual de dados.

Com o intuito de estabelecer a faixa de funcionamento dinâmico para painéis, foi construída uma família de curvas; isto irá permitir, aos projetistas de Condicionadores de Energia para Painéis Fotovoltaicos, uma simplificação do sistema de controle. Na Figura 3 uma família de curvas cobrindo uma ampla faixa de radiação é apresentada; as coletas de 1 a 10 compreendem irradiações indo de $213,56 \text{ W/m}^2$ a $921,67 \text{ W/m}^2$, tendo, no melhor caso, como variação de radiação em cada coleta em torno de 20 W/m^2 , e a temperatura variando de $28,5^\circ\text{C}$ a $48,0^\circ\text{C}$. Como podemos observar pelo resultado obtido, o procedimento é impreciso, não conseguindo parametrizar as Curvas Características precisamente em função da radiação e da temperatura.

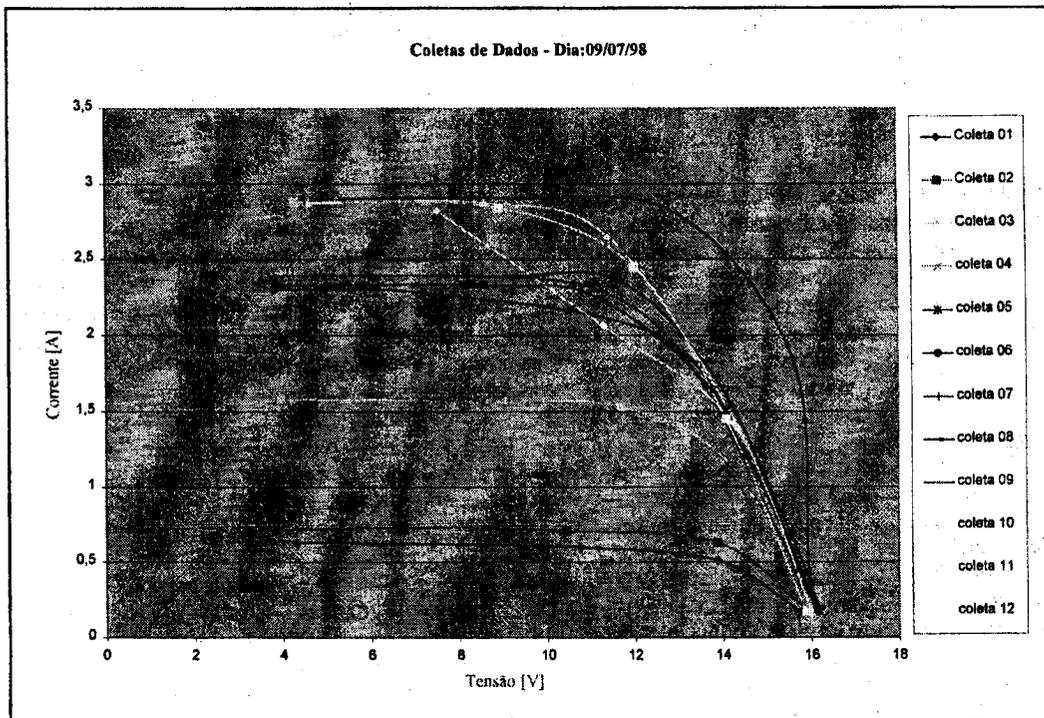


Figura 3: Curvas Características utilizando como parâmetro à radiação.

4. Modelamento

A partir das propriedades físicas de semicondutores, o modelamento do painel foi estabelecido. Apresentamos abaixo as principais equações:

$$J = K1 * \lambda - K2 * e^{(\alpha * V - \beta * T - \gamma)}$$

$$V = \frac{1}{\alpha} * \left[\ln \left(\frac{\lambda}{K} - \frac{J_p}{A_{cel}} \right) + \beta * T + \gamma \right]$$

$$V_p = \sum_{j=1}^{N_{cel}} V_j - N_{cel} * R_s * J_p$$

$$V_p = \left[\sum_{j=1}^{N_{cel}} \left[\frac{1}{\alpha_j} * \left(\ln \left(\frac{\lambda_j}{K_j} - \frac{J_{pj}}{A_{cel}} \right) + \beta_j * T_j + \lambda_j \right) \right] \right] - N_{cel} * R_s * I_p$$

J = densidade de corrente (mA/cm^2);

V = tensão na célula (V);

$K1$ = adimensional de proporcionalidade entre J e λ na região linear (gerador de corrente);

λ = intensidade luminosa incidente (mW/cm^2);

$K2$ = constante de ajuste de valor $1\text{mA}/\text{cm}^2$;

β = coeficiente de temperatura ($1/^\circ\text{C}$);

α = coeficiente de tensão (1/V);

β = coeficiente de temperatura ($1/^\circ\text{C}$);

γ = adimensional para ajustar a curva na região em que a célula pode ser considerada um gerador de tensão variável com a temperatura;

N_{cel} = número total de células em série;

R_s = resistência de contato.

5. Sistema de Automação

Para a automação dos procedimentos de coleta e tratamento estatístico de dados o seguinte sistema foi projetado/manufaturado: um conversor de corrente contínua em corrente contínua variável (conversor dc/dc) permite realizar o controle eletrônico de carga resistiva imposta ao painel fotovoltaico. Um microcomputador realiza o controle cíclico da variação de carga do painel, através de um conversor digital/analgico, de um modulador por largura de pulso (PWM) e de

um driver para o chaveador do conversor dc/dc, que consiste de um transistor bipolar com gate isolado (IGBT). Um diagrama de blocos do sistema é apresentado na Figura 4.

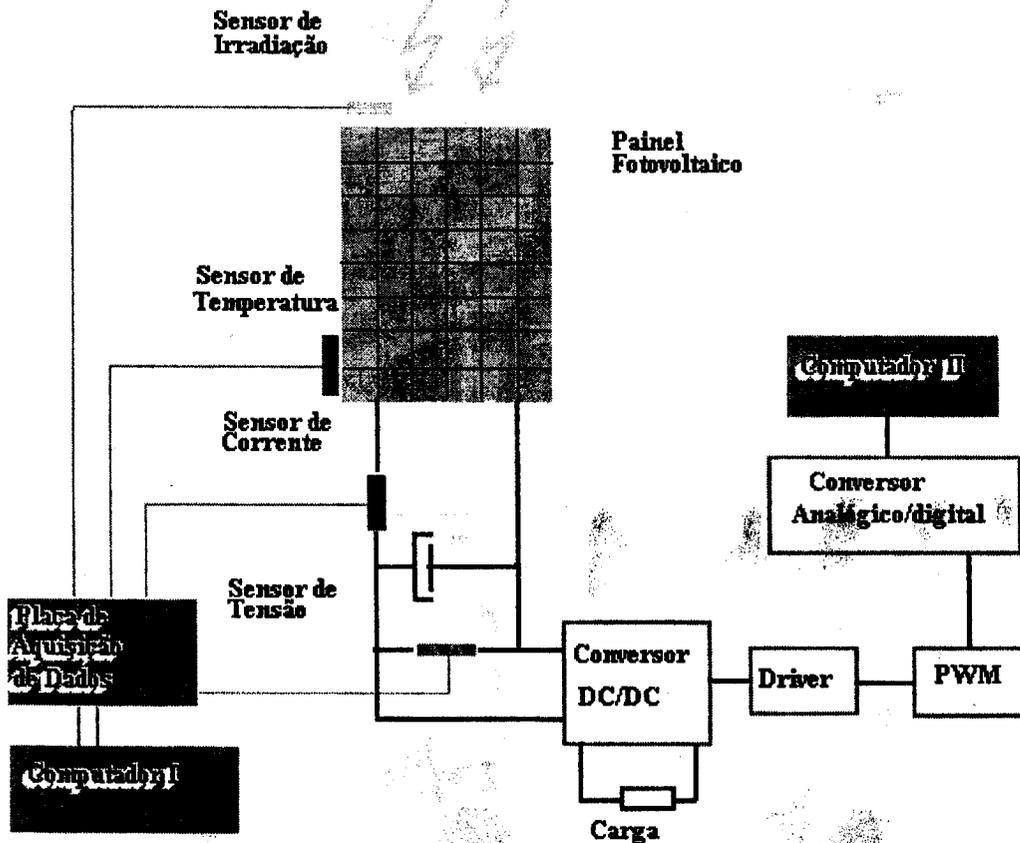


Figura 4: Diagrama de blocos do sistema de automação.

Na Figura 5 apresentamos o diagrama do circuito eletrônico e na Figura 6 as formas de onda de referência de corrente (resistência) imposta ao painel e a corrente no painel fotovoltaico. Os softwares utilizados foram: Design Architect e AccuSim da Mentor Graphics Corporation (Convênio Mentor Graphics/PUC Minas).

Um sistema de Aquisição de Dados, através de sensores, permite a obtenção dos seguintes parâmetros no painel: incidência luminosa, temperatura, tensão e corrente. As aquisições são cíclicas, acompanhando a variação cíclica de resistência de carga no painel.

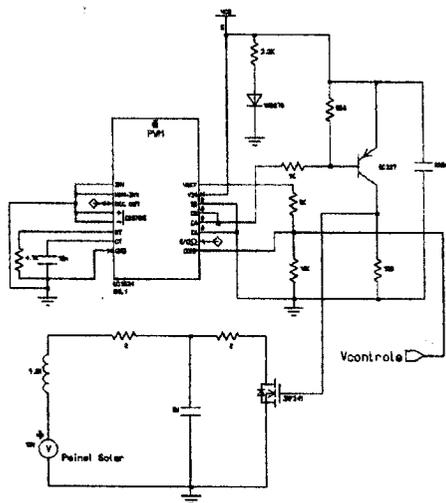


Figura 5: Diagrama eletrônico do Conversor DC/DC (design Arch.-Mentor Graphics).

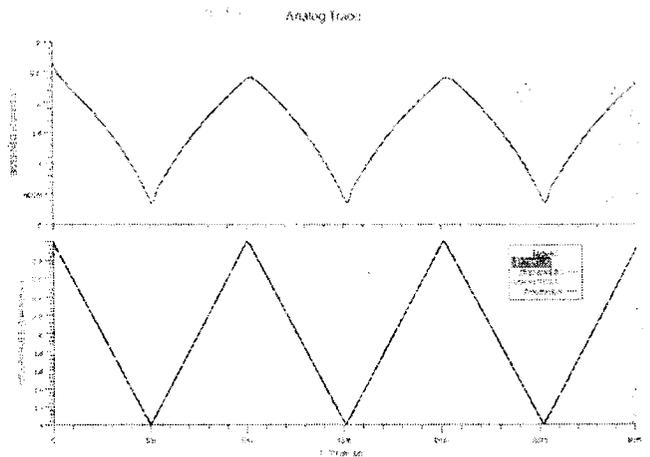


Figura 6: Formas de onda de corrente no painel e de referência (AccuSim-Mentor Graphics).

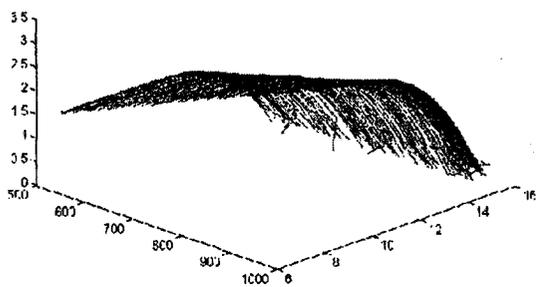


Figura 7: Superfícies no espaço Tensão x Corrente x irradiação

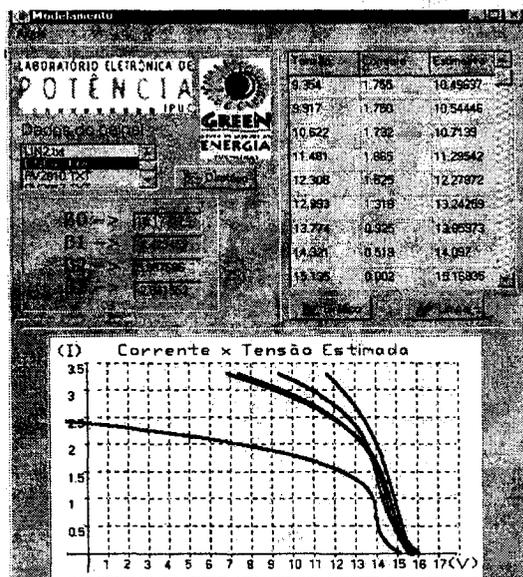


Figura 8: Janela do Software de Plotagem

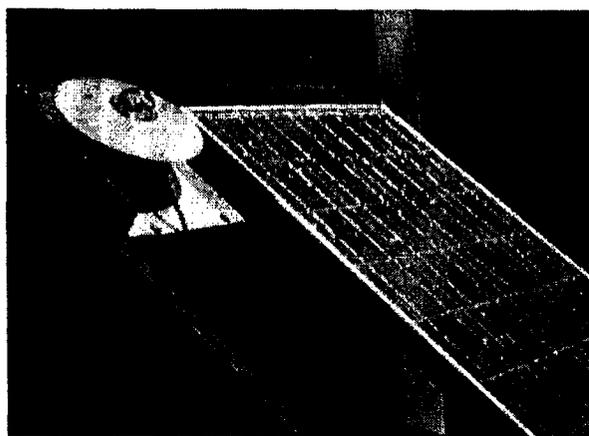


Figura 9: Painel Solar e Piranômetro

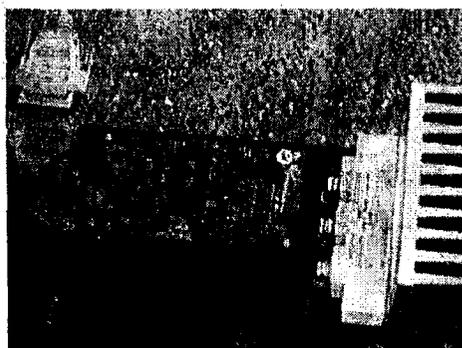


Figura 10: Sistema de Automação

As curvas características obtidas com o sistema de automação são apresentadas na Figura 7. Neste diagrama temos tensão em função da corrente utilizando como parâmetro a radiação. A partir dos dados coletados automaticamente, implementou-se um software em C++Builder, para a plotagem das curvas características. O software é baseado no Algoritmo de Regressão Polinomial. Com este algoritmo não é possível estimar os parâmetros do painel devido a não linearidade do modelo. Apresentamos na Figura 8 uma janela do software desenvolvido e, também, são apresentadas algumas fotos do Sistema de Automação nas Figuras 9 e 10.

7. Conclusão

A Automação do Sistema de Coleta de Dados para Painéis Fotovoltaicos permitiu um tratamento estatístico dos dados eficaz, indispensáveis com a coleta manual. O sistema eletrônico mais software respondem à dinâmica do painel fotovoltaico. Com este sistema podemos dar subsídios aos projetistas de Sistemas Eletrônicos que utilizam como fonte de alimentação Painéis Fotovoltaicos. Como desenvolvimento posteriores, podemos citar: integração de todo o sistema de automação, confecção automática de relatórios, estimação dos parâmetros do painel fotovoltaico (regressão não linear) e simulação do sistema completo de automação utilizando os softwares Design Architect, AccuSim e/ou Continuum (Mentor Graphics Corporation).

8. Bibliografia

1. Ljung, L.: "System Identification-Theory For The User"; Prentice-Hall, 1987.
2. Gouesbat, G. et alli.: "Reconstructing Dynamics from a Scalar Time Series"; Annals New York Academy of Sciences; Vol. 808; pp. 25-50;1997.
3. Franceschetti, N. N. et alli.: "Modelagem e Simulação da Transferência de potência de um Sistema Fotovoltaico"; Anais do IV Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência; pp. 275-280, Belo Horizonte, 1997.
4. Green, M. A.: "Solar Cells: operating principles, technology and system application"; Prentice-Hall, 1982.
5. FSEC-(Florida Solar Energy Center), "Photovoltaic System Design", FSEC-GP-36-88,Florida,1988.

Agradecimento:

À Corporação Mentor Graphics pela doação do CAD para Automação de Projetos Eletrônicos (Convênio Mentor Graphics - PUC-Minas).

ELABORACION DE PELICULAS DE CdTe PARA USO SOLAR

R. Picicelli*, J. L. Dragone*, A. Lamagna** y N. Di Lalla***

*Alumnos UBA, ** CNEA, *** CONICET

Dep de Materiales CAC-CNEA

Av. Gral Paz 1499 cp 1650-San Martín (BsAs)

dilalla@cnea.edu.ar

RESUMEN

Se presentan los avances en la elaboración de films policristalinos de CdTe mediante una técnica de bajo costo, como ser electrodeposición catódica.

El CdTe conforma el absorbente de las celdas de pequeñas áreas (1 cm^2) de CdTe/CdS que se elaboran en nuestro laboratorio, éstos depósitos se realizaron utilizando un electrolito acuoso preparado con sales de cadmio en una concentración de 0.5 M de Cd con la inyección de 10 ppm de ión HTeO_2^+ .

Los films electrodepositados fueron luego sometidos a un tratamiento de recristalización con CdCl_2 a alta temperatura.

Se muestran los cambios introducidos en la estructura cristalográfica y en la morfología del CdTe, debido a dicho tratamiento, mediante los espectros de XRD y las imágenes de AFM.

Se muestra además el perfil de concentraciones de Cd y Te en profundidad del depósito; todos los resultados coinciden con los reportados en publicaciones extranjeras.

INTRODUCCION

El CdTe es uno de los materiales más promisorios para ser utilizados como absorbentes en conversión fotovoltaica, debido a su excelente ancho de banda de 1.45 eV, a su alto coeficiente de absorción mayor de 10^4 cm^{-1} , y a la variada cantidad de técnicas de bajo costo posibles de ser empleadas para su elaboración como film delgado.

El método de electrodeposición resulta muy atractivo fundamentalmente por la simpleza del equipamiento necesario, la posibilidad de producción a gran escala, y la gran pureza obtenida en los depósitos aun con la utilización de drogas de grado analítico.

Diversos autores estudian la influencia del tratamiento con CdCl_2 - metanol introducido por Basol [1], tendiente a mejorar las cualidades físicas de las películas de CdTe depositadas mediante distintas técnicas. Algunos de los efectos introducidos por dicho tratamiento son: crecimiento del tamaño de grano y reducción de la densidad de defectos, disminuyendo de esta manera el "stress" en la red policristalina del material.

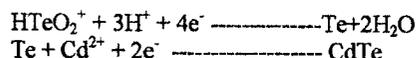
PARTE EXPERIMENTAL

Las películas de CdTe fueron crecidas mediante electrodeposición a partir de una solución de concentración 0.5M de Cd, ión telurito (HTeO_2^+) fue inyectado hasta obtener 10 ppm, el procedimiento fue seguido tal como lo describe la literatura [2,3,4]; la concentración de HTeO_2^+ fue verificada mediante el método de absorción óptica.

Fueron utilizadas drogas de pureza de grado análisis siendo la solución convenientemente electropurificada previo a la electrodeposición.

El crecimiento se desarrolla a 90 °C en continua y moderada agitación.

La reacción que ocurre en la superficie del sustrato es:



Se obtuvieron películas policristalinas de aproximadamente 1500 nm de espesor y de muy alta pureza.

Para estudiar la recristalización del CdTe se efectuó un análisis XRD de dos muestras de CdTe:

- Una película de CdTe recién electrodepositada.
- Electrodepositada más un tratamiento térmico a 400°C en aire durante 10 minutos, previa inmersión en una solución de CdCl_2 - metanol.

Este último procedimiento es tendiente a mejorar la cristalización del CdTe, esto es, aumenta la intensidad relativa de los picos (220) y (311) agregando un pico extra, además del (111) que es el pico significativo que siempre aparece en el CdTe. Todo lo anterior puede observarse en el espectro de XRD de la figura 1a y 1b en las que se verifica que un tratamiento térmico a 400°C previa inmersión en CdCl_2 recristaliza al CdTe.

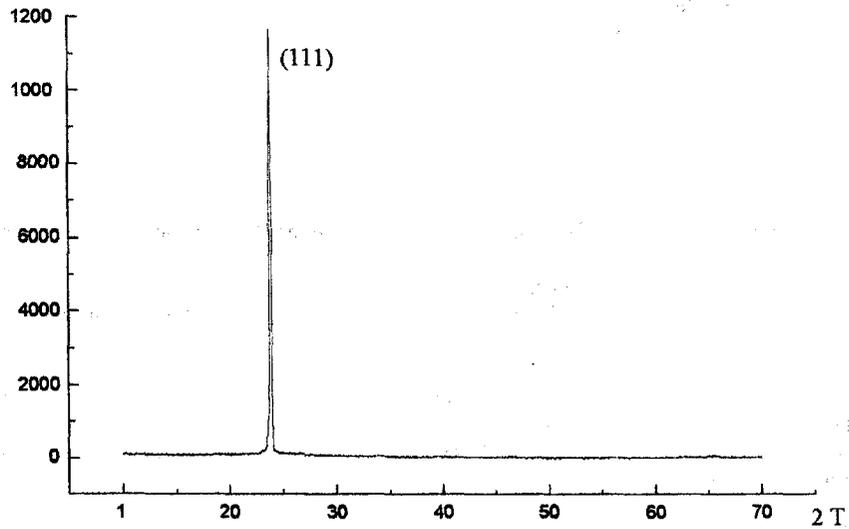


Fig. 1a: Imagen XRD de una película electodepositada de CdTe, sin tratamiento térmico posterior.

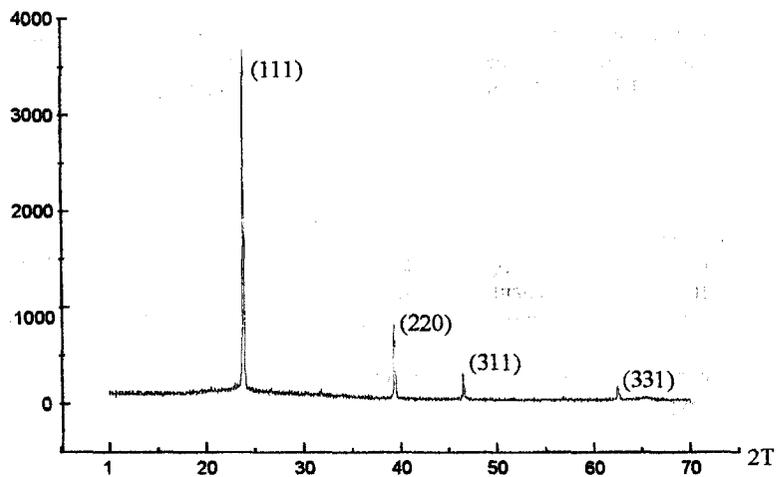


Fig. 1b: XRD de una película electodepositada de CdTe, con posterior tratamiento con CdCl₂ más un recocido a 400°C durante 10 min. en aire

Además fueron obtenidas las imágenes AFM de las superficies de las muestras A y B y puede apreciarse un notable incremento del tamaño de grano lo cual da cuenta de la recristalización ocurrida Figuras: 2a y 2b otros autores reportan los mismos resultados [5].

Es importante señalar que este tratamiento resulta fundamental para poder concretar con éxito la última etapa del dispositivo, esto es la elaboración del contacto eléctrico posterior, lo cual es dificultoso debido a la alta función trabajo del CdTe tipo P (5.5 eV)[6].

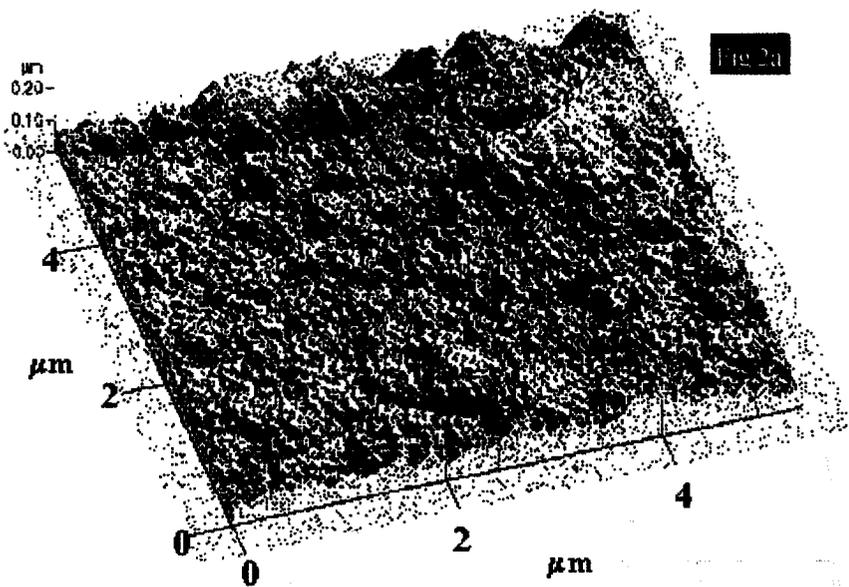
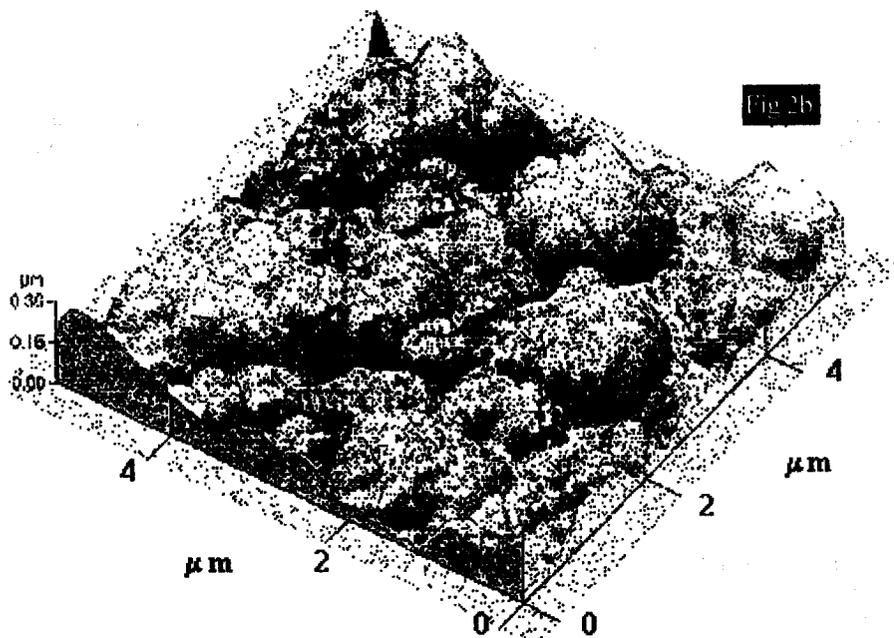


Fig.2 Imagen AFM de la superficie de una película de CdTe electrodpositada

(a) sin tratamiento térmico

(b) con tratamiento térmico a 400°C en aire durante 10 min. previa inmersión en CdCl₂ - metanol



También se ha realizado un espectro de XPS para estudiar las concentraciones de Cd y Te en superficie y en volumen lo cual es mostrado en la figura 3, esto se logró mediante un barrido iónico superficial controlado, se puede apreciar como dichas concentraciones tienden a asintotizar a un valor cercano al 50 % observándose que el material es levemente rico en Te (tipo P). Se nota además la presencia de contaminantes superficiales como ser carbono y oxígeno cuya concentración se hace prácticamente cero en los primeros 5 minutos de barrido.

Para la utilización de estas películas de CdTe como absorbente en un dispositivo fotovoltaico es muy importante la eliminación de estos contaminantes, la cual se realizará mediante un ataque químico apropiado [7].

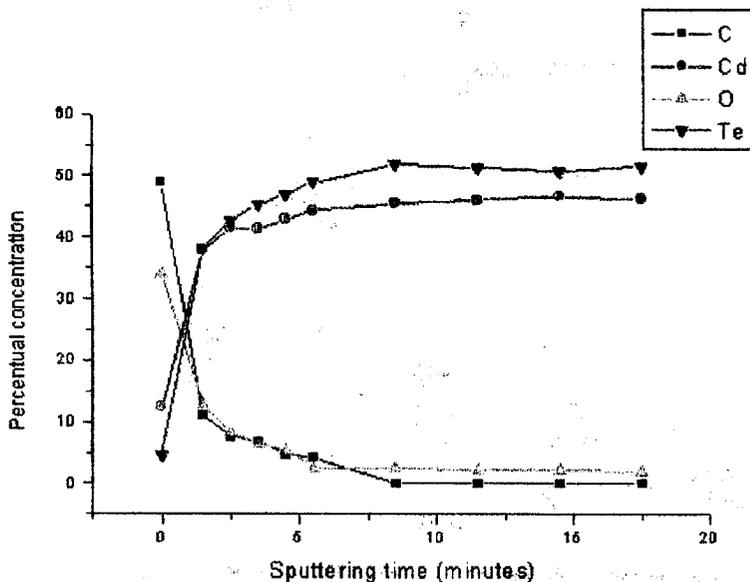


Fig.3: Perfil de concentraciones de Cd y Te de una película de CdTe electrodepositada, obtenido por XPS con barrido iónico.

CONCLUSIONES

Se pudo comprobar que resulta fundamental el tratamiento con CdCl_2 previo al recocido a 400°C en aire para mejorar la cristalización del film de CdTe obtenido por electrodeposición, gracias al cual cambia considerablemente la morfología del film mejorando las cualidades físicas de CdTe. Se observa un notable aumento del tamaño de grano cuyo efecto es el de reducir la cantidad de centros de recombinación en el material.

Dicho tratamiento aumenta la intensidad de los picos de XRD preexistentes como el (111) y produce la aparición de nuevos picos como los: (220), (310) y (331).

Las películas de CdTe electrodepositadas resultaron levemente ricas en Te con una contaminación solamente en superficie de C y O, fácilmente removibles mediante un ataque químico superficial o por un barrido iónico con Ar^+ .

Estos resultados se reflejan en las buenas respuestas fotovoltaicas de las celdas de pequeñas áreas que elaboramos en nuestro laboratorio, resultados que fueron presentados en la "26 th Photovoltaics Specialist Conference" desarrollado en California en 1997.

Finalmente concluimos que por electrodeposición pueden obtenerse depósitos de CdTe de alta pureza y de muy buenas cualidades cristalográficas, resultando apropiadas como absorbente en celdas de películas delgadas de bajo costo.

REFERENCIAS

- [1] Basol, B. M. Conf. Record of the 21 st Photovoltaic Specialists Conference (1990) 588-594
- [2] S. K. Das and G. C. Morris Solar Energy Materials and Solar Cells 27 (1992) 305-319
- [3] J. Barker et al., Solar Energy Materials and Solar Cells (1992) vol 12 pp 79-94.
- [4] G. C. Morris and S. K. Das Int. J. Solar Energy 1992 vol 12, pp 95-108
- [5] R.G. Dhere 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna, 6-10 July 1998
- [6] J.P. Pompon et al. J. Appl. Phys. 54 (6) (1983) pp. 3260-3268.
- [7] G. Fulop et al, Appl. Phys. Lett., Vol 40 N° 4, (1982), pp. 327

ELABORACION DE PELICULAS DE OXIDOS CONDUCTORES TRANSPARENTES PARA USO SOLAR

R. Picicelli*, J. L. Dragone*, A. Lamagna y N. Di Lalla*****

***Alumnos UBA, ** CNEA, ***CONICET**

Dep de Materiales CAC-CNEA

Av. Gral Paz 1499 cp 1650-San Martín (BsAs)

dilalla@cnea.edu.ar

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos en lo referente al crecimiento y caracterización de películas conductoras transparentes de $\text{SnO}_2\text{:F}$ obtenidas mediante deposición por pirólisis de vapor de una solución de $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, para la posterior utilización en los contactos frontales de celdas solares de CdTe/CdS que se elaboran en nuestro laboratorio. Las películas se han caracterizado mediante las técnicas usuales XRD, ESEM, espectroscopía de transmisión y conductividad por cuatro puntas.

INTRODUCCION

Materiales como ser los óxidos conductores y transparentes tales como el : ITO, ZnO , SnO_2 son tema de investigación y desarrollo por sus diversas aplicaciones, podemos citar por ejemplo: ventanas electrocrómicas, sensores de gases, contactos transparentes en celdas solares etc.

Nuestro interés se focaliza en la obtención de películas delgadas de $\text{SnO}_2\text{:F}$ y en particular para el uso en celdas solares de CdTe/CdS .

El SnO_2 presenta un ancho de banda prohibida de 3.7 eV lo que lo hace transparente a la luz visible y por lo tanto empleable como ventana en celdas solares. Además su índice de refracción en el rango de 1.6 a 1.9 lo hace utilizable como capa antireflectante en celdas solares de silicio.

El SnO_2 estequiométricamente intrínseco es no conductor por lo cual debe ser adecuadamente dopado con algún elemento, tal es el caso del fluor que dopa actuando como sustitucional del ión O^{2-} gracias a la similitud del radio iónico (1.17 Å para el F⁻ y 1.22 Å para el O^{2-}).

Las cualidades del compuesto depende de las fases presentes, siendo las posibles : SnO , Sn_2O_3 , Sn_3O_4 y SnO_2 , esta última es la buscada dependiendo fundamentalmente el tipo de cristalización de la temperatura de crecimiento.

Existen una variada cantidad de técnicas que pueden ser empleadas para el crecimiento de películas policristalinas transparentes y conductores de SnO_2 [1] como ser : CVD, evaporación en vacío, evaporación por haz electrónico, pirólisis de vapor, esta última se destaca por su economía y muy buenos resultados.

PARTE EXPERIMENTAL

Se ha empleado la técnica de depósito por pirólisis, debido principalmente a los bajos costos involucrados, la solución fue preparada con $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y NH_4F en una relación molar $[\text{F}]/[\text{Sn}]$ del 390% en solución, relación para la cual se obtienen buenos resultados [2], como alcohol de transporte fue utilizado CH_3OH , y se añadió una pequeña cantidad de H_2O para mejorar la hidrólisis del cloruro de estaño.

La niebla fue producida por un nebulizador ultrasónico de 1.7 Mhz. Los sustratos utilizados fueron vidrios cubre objetos de aproximadamente $3 \times 3 \text{ cm}^2$, los cuales fueron previamente limpiados con acetona, metanol y luego enjuagados con agua de $18 \text{ M}\Omega\text{cm}$.

Los depósitos fueron realizados a una temperatura de 400 °C y los espesores buscados de aproximadamente 350 nm, valor éste para el cual asintotiza la resistividad (ver figura 1) y más allá del cual empeora la transmitancia óptica.

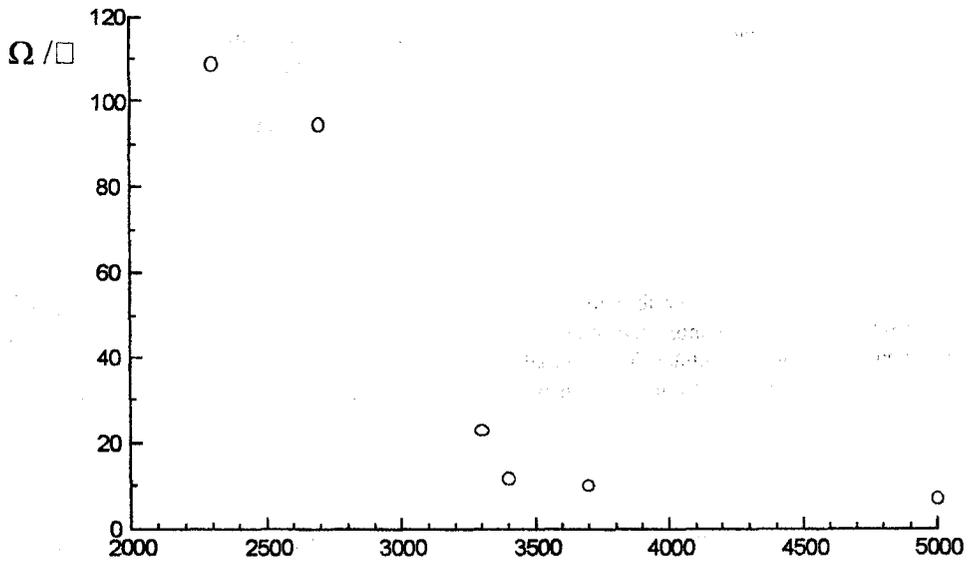


Fig.1 Resistividad de capa de un film de SnO₂:F en función del espesor

La resistividad de capa baja hasta aproximadamente 10 Ω/□ obteniéndose una transmisión óptica que supera al 85% para λ=600nm (Fig.2); valores similares han sido reportados en otras publicaciones extranjeras[3].

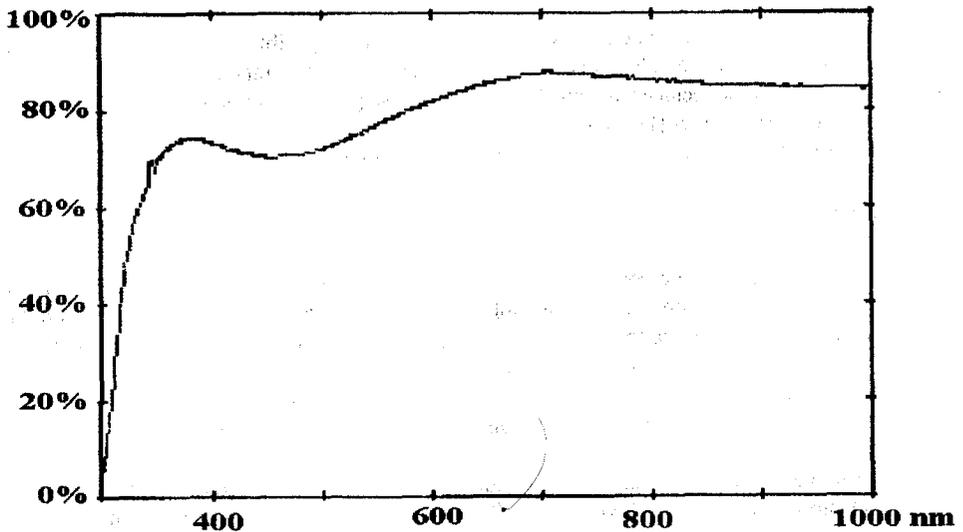
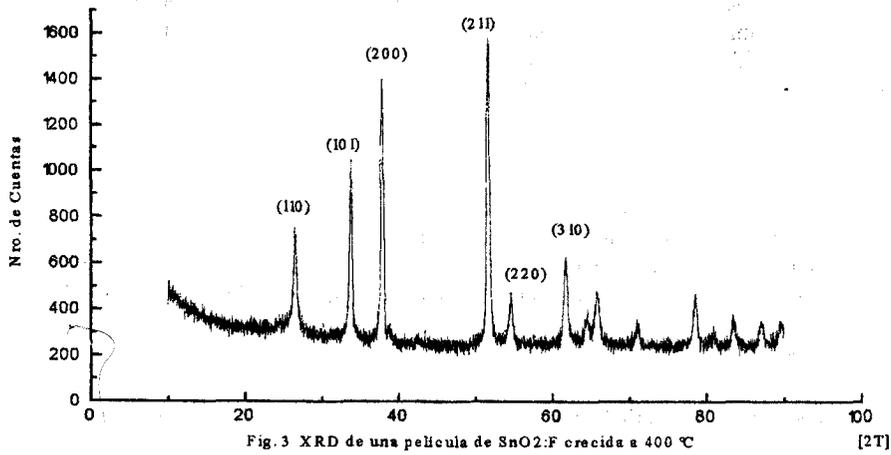


Fig.2 Transmisión óptica de una película de SnO₂:F de 350nm de espesor

La estructura cristalográfica fue caracterizada mediante XRD rasante, resultando como estructura predominante la tetragonal (casiterita), se observa en dicho espectro los picos característicos principales del SnO₂ como ser el (200) y el (211) ver Fig 3. La intensidad de los picos depende fundamentalmente de la temperatura del sustrato[4].



La Figura 4 muestra la imagen ESEM de la superficie de la película de SnO₂:F, puede observarse la estructura policristalina que da cuenta de la buena cristalización, estimándose que los tamaños de grano varían entre 500 y 2000 nm.

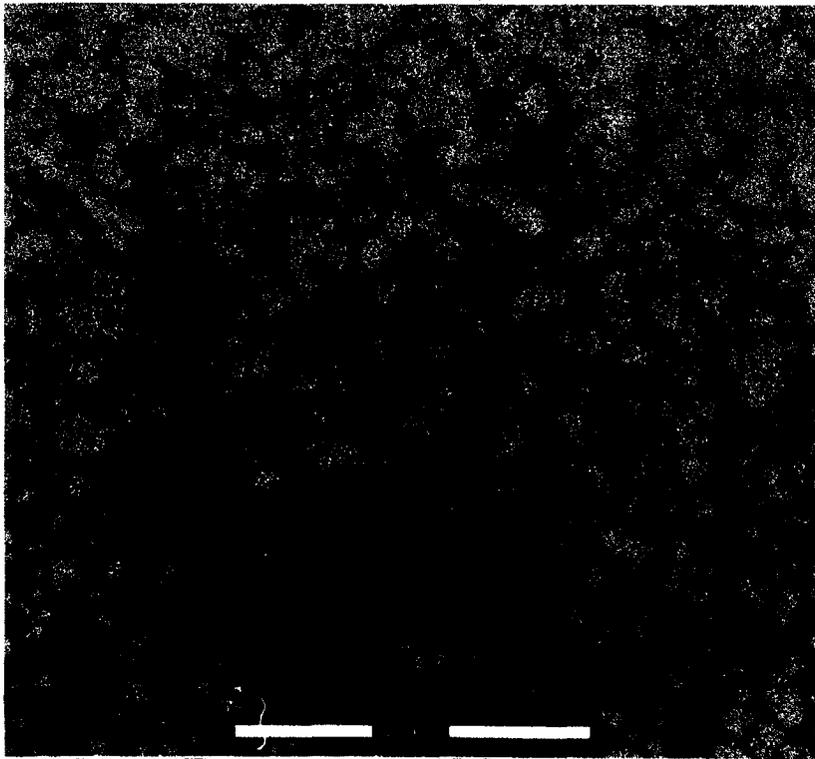


Fig. 4: Imagen ESEM de la superficie del SnO₂:F depositado por "spray pyrolysis" a 400 °C sobre Si. 20000X

CONCLUSIONES

Podemos decir que se han obtenido películas de muy buenas cualidades optoelectrónicas, depositándolas mediante pirólisis de vapores generados por nebulización ultrasónica de 1.7 MHz, resultando dicha técnica muy sencilla y económica, y verificando la posibilidad de utilizar $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en reemplazo del $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ que es el que comúnmente es usado. La imagen XRD muestra el espectro característico de la fase SnO_2 , sin presencia de la fase SnO , las orientaciones más sobresalientes son las (200) y (211) resultando la estructura tetragonal (casiterita).

Además la imagen del microscopio electrónico muestra una excelente cristalización a una temperatura no mayor a 400°C . En cuanto a la transparencia del film resultó muy buena, de aproximadamente del 85 % para $\lambda=600\text{nm}$, en espesores de aproximadamente 350 nm, obteniéndose resistividades de aproximadamente $4 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ con una resistividad de capa de aproximadamente $10 \Omega/\square$, valores todos comparables a los reportados en publicaciones extranjeras.

Con todo lo expuesto se puede concluir que las películas de $\text{SnO}_2:\text{F}$ obtenidas mediante esta técnica con el empleo de cloruro de estaño califican para ser utilizados como contactos anteriores de celdas fotovoltaicas de CdS/CdTe .

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Lic. Diego Lamas de CITEFA por habernos realizado los espectros XRD rasante de las muestras de $\text{SnO}_2:\text{F}$.

REFERENCIAS

- [1] K.L Chopra, S. Mayor and D.K. Pandya. *Thin Solid Films*, 102 (1983) 1-46
- [2] Chitra Agashe et al. *Solar Energy Materials* 17 (1988) 99-117
- [3] K.H.Yoon and J.S.Song. *Solar Energy Materials* 28 (1993) 317-327
- [4] K. B. Sundaram and Bhagavat. *Thin Solid Films*, 78 (1981) 35

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN LAS ESCUELAS RURALES DEL NORTE SANTAFESINO.

M. Cutrera, B. Gottlieb, M. Battioni, R. Crisalle, G. Risso, R. Koropecski*, R. Arce, R. H. Buitrago*.

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química

CONICET - UNL

Güemes 3450 - 3000 Santa Fe

TE / Fax : 54-42-55 9190 e-mail : rbuitre@intec.unl.edu.ar

*Facultad de Ingeniería Química - UNL

Sgo. Del Estero 2829 - 3000 Santa Fe

RESUMEN

Por convenio entre la Universidad Nacional del Litoral y el Ministerio de Educación de la Provincia de Santa Fe, se asigna al GENOC la responsabilidad del mantenimiento de prevención y reparación de los sistemas fotovoltaicos instalados en 163 escuelas rurales del norte santafesino.

Se visitaron hasta la fecha 59 escuelas, en las mismas se siguió un protocolo de inspección y mantenimiento que abarca todos los componentes del sistema. Se lleva una estadística completa de fallas y problemas, la que se presenta en este trabajo en forma sintética. En base a los problemas encontrados se discuten algunas soluciones.-

INTRODUCCIÓN:

El Grupo de Energías No Convencionales (GENOC), dentro del convenio marco de cooperación celebrado entre el Gobierno de la Provincia de Santa Fe y la Universidad Nacional del Litoral el día 12 de Junio de 1995 y ratificado por ley N° 11473 de fecha 12 de Junio de 1997, se hizo cargo del estudio, mantenimiento y asistencia técnica de los sistemas fotovoltaicos instalados en 163 escuelas rurales del Norte Santafesino, a partir del 10 de febrero de 1998.-

El objetivo principal es mantener el servicio en buen funcionamiento, teniendo en cuenta la importancia que reviste para este tipo de usuario, que en la mayoría de los casos cumple funciones, no sólo educativas, sino también sociales y culturales entre los grupos familiares de la zona rural próxima.

En segundo lugar es interés de GENOC, la difusión de aquellas fuentes renovables de energía, como la solar fotovoltaica, a la vez que disponer de datos de funcionamiento de los distintos componentes de un sistema fotovoltaico, en lo que hace a durabilidad, rendimientos, causas de fallas, incidencia del tipo de usuarios, marcas comerciales en competición, etc.; a través de equipos que en la actualidad están prestando servicio.

El siguiente trabajo muestra resultados obtenidos sobre los 59 establecimientos educativos visitados en el transcurso del presente año. En la parte experimental se describe la rutina de mantenimiento seguida en cada establecimiento, en resultados, se muestran algunas estadísticas de fallas y de conducta del usuario. Este trabajo se completará al finalizar la primera inspección a todas las escuelas donde el muestreo será mucho más representativo, lo que se estima terminar en el mes de noviembre del corriente año.

MÉTODO DE MANTENIMIENTO:

En cada visita a una escuela rural con sistema fotovoltaico, se procede de acuerdo al protocolo de inspección elaborado por GENOC, que básicamente comprende las siguientes tareas de rutina.

- a) Entrevista con el docente a cargo para obtener un reporte preliminar del estado del sistema, y problemas existentes. Se solicitan datos sobre el equipo eléctrico y/o electrónico usado, la cantidad de personas que habitan regularmente, sus edades y hábitos de consumo de energía.
- b) Módulos, bases y borneras:
Limpieza profunda del vidrio frontal de los módulos y aplicación de líquido antiestático. Despeje de malezas y ramas que proyecten sombras sobre los módulos. Verificación del cierre y pegado de las cajas de conexionado, se somete a esfuerzos mecánicos los bulones de fijación y el cableado eléctrico.
En el aspecto de funcionamiento, se mide la tensión de circuito abierto (Voc) y la corriente de corto circuito (Icc) del conjunto de paneles, así como la radiación solar y temperatura de los módulos en el momento de la toma de datos. Estas medidas, se hacen además para un sólo panel, individualizado adecuadamente, a fin de seguir su evolución

temporal en las siguientes visitas. Se ha desarrollado un equipo de adquisición de curvas I-V para los módulos que se comenzará a utilizar en los próximos viajes, estas curvas brindan la información completa sobre el estado del módulo.

c) **Tablero y banco de baterías:**

En el tablero se realiza una inspección visual para detectar roturas, luces indicadoras quemadas, problemas en las conexiones, se repone la batería de alimentación del instrumento, se comprueban los valores de tensión ajustados para las distintas funciones de control y se ensaya, con un simulador especialmente diseñado en nuestro grupo, la operación del controlador de carga de baterías.

En el banco de baterías se mide la tensión y comprueba en todos los vasos, el nivel y densidad del electrolito, así como su homogeneidad, se repone en caso de necesidad. Se verifica el estado de bornes, engrase y si presentan sulfatación; la conexión del sensor de temperatura. Se hace un ensayo de descarga durante 30 minutos para medir la capacidad real remanente, el cuál se repite para una batería testigo a fin de seguir su evolución temporal en las siguientes visitas.

d) **Instalación eléctrica general.**

Inventario de luminarias, llaves y tomas. Chequeo del funcionamiento y reposición del material defectuoso. Inspección del tablero de distribución.

Medición de la caída de tensión desde el banco de baterías hasta el toma más alejado del mismo, el toma se identifica a fin de poder seguir la evolución temporal del ΔV , como monitor del envejecimiento del cableado y conexión de la red de distribución.

CAPACITACIÓN DE USUARIOS

El equipo técnico a cargo de la instalación de los sistemas fotovoltaicos, instruyó a los usuarios en el momento de entregar la obra; pero, dada la permanente movilidad de los maestros, el GENOC consideró necesaria la realización de una nueva capacitación. Es por esto, que el primer paso dado fue el dictado de un curso al usuario, es decir, a los educadores a cargo de los equipos; con el objeto de familiarizarlos con el sistema y su correcto uso. El curso se dictó en las Regionales de cada zona y se distribuyó un manual confeccionado por GENOC como guía y recordatorio de los cuidados a tener con el equipo. A la vez se recabó información sobre la mejor manera de comunicarse con cada educador, a fin de agilizar la asistencia técnica cuando ocurre alguna falla.

El curso dictado por GENOC consistió en la descripción general del equipo, la explicación de algunos términos eléctricos básicos para facilitar la comprensión de las indicaciones que aparecen en los instrumentos. Y, esencialmente, el detalle de los cuidados a tener y el porqué de los mismos, con cada componente del sistema.

Las reuniones llevadas a cabo en cada Regional fueron también una importante ocasión de intercambio de ideas con los docentes, que explicaron los problemas encontrados durante el uso y la opinión, en general favorable, sobre el servicio eléctrico ofrecido por los paneles fotovoltaicos.

ESTUDIO DE FALLAS:

El tipo y cantidad de desperfectos ocurridos, contados sobre las 59 escuelas visitadas al presente (6 de ellas están actualmente conectadas a la red de distribución de energía convencional), se resumen a continuación. **Los porcentajes se dan sobre el total de escuelas visitadas o de módulos, baterías, reguladores, tubos fluorescentes y reactancias instalados según corresponda.**

Módulos y sus soportes:

- Cambio de coloración de celdas: en 10 escuelas (17 %).
- Roturas y robos: 24 módulos (3,5 %).
- Problemas menores tales como oxido en borneras de la base, elementos que proyectan sombra, falta de limpieza, malezas, insectos y pequeños animales en cajas de conexión de módulos: en 29 escuelas (49 %)

Regulador:

- Fuera de servicio por tormenta eléctrica: en 2 escuelas (3,4 %).
- Mal operados por usuario: en 2 escuelas (3,4 %).
- Fallas menores (luces, fusibles, batería, etc.) que no provocan salida de servicio: en 5 escuelas (8,5%).
- Fuera de servicio por descalibración: en 4 escuelas (6,8 %).

Baterías:

- Fuera de servicio: 12 (5 %).
- Escasa retención de carga: 10 (4 %).
- Bajo nivel de electrolito, falta de grasa y sulfatación en bornes, mala ventilación en el recinto: en 13 escuelas (24,5 %).
- En mal estado por abandono debido a instalación de energía convencional: 22 (8 %).
- Densímetros rotos: 2 (3,4 %).

Reactancias electrónicas:

- De 18 W: 27 (3,4 %).
- De 36 W: 28 (7 %).

Tubos fluorescentes:

- De 18 W: 61 (8 %).
- De 36 W: 45 (11 %).

Instalación eléctrica:

- No se encontraron desperfectos en número significativo en el cableado conexiones eléctricas, llaves, tomas y fusibles.

Teniendo en cuenta el total de fallas ocurridas conforme a nuestra tipificación, los elementos constitutivos del sistema fotovoltaico que presentan mayor porcentaje de desperfectos son los siguientes:

Tubos fluorescentes de 18 W:	21 %.
Tubos fluorescentes de 36 W:	15 %.
Reactancias electrónicas de 36 W:	9,5 %.
Reactancias electrónicas de 18 W:	9 %.
Roturas y robos de módulos:	8 %.
Baterías fuera de servicio:	4 %.
Reguladores fuera de servicio:	2 %.

Con el objeto de analizar la información de acuerdo al tiempo transcurrido desde que comenzó a funcionar cada instalación, se distinguieron tres grupos:

- Grupo I, dos años y medio.
- Grupo II, dos años.
- Grupo III, un año y medio.

Dado que las causas de módulos fuera de servicio no fueron técnicas, sino causas climatológicas o vandalismo, se hizo este análisis sobre las reactancias, los tubos, las baterías y los reguladores de carga, que han sido los elementos con mayor porcentaje de problemas.

- Los porcentajes se dan sobre la población individual de cada grupo.

- GI: 23 % de fallas en reactancias y tubos fluorescentes.
14 % de baterías de 2 V fuera de servicio.
20 % de baterías de 12 V fuera de servicio.
2 % de reguladores descalibrados
- GII: 23 % de fallas en reactancias y tubos fluorescentes.
0 % de baterías fuera de servicio.
0.3 % de reguladores descalibrados
- GIII: 4.5 % de fallas en reactancias y tubos fluorescentes.
0 % de baterías fuera de servicio.
0 % de reguladores descalibrados

CONCLUSIONES

Se estudiaron los sistemas fotovoltaicos instalados en las escuelas rurales ya mencionadas, habiendo transcurrido distintos tiempos de funcionamiento: desde un año y medio a dos años y medio. En general los resultados son satisfactorios, con un buen estado de conservación, que permite predecir la continuidad en servicio de muchos elementos mas allá de lo que originalmente se pensaba. Se observa una fuerte dependencia del estado en que se encuentran los sistemas, del cuidado y los hábitos del usuario. Se encuentran contrastes como que en una escuela al cabo de casi tres años tiene todo en perfectas condiciones mientras otras presentan baterías completamente agotadas, luminarias quemadas y descuido en la limpieza de módulos, con solo un año y medio de uso.

De las fallas detectadas surgen claramente las siguientes recomendaciones a los efectos de prolongar la vida útil de los componentes de un sistema fotovoltaico:

a) Las reactancias electrónicas deben tener un sistema de seguridad para evitar su deterioro cuando el tubo se agota. Además las instaladas en el exterior de la vivienda deben ser encapsuladas.

b) Las baterías necesitan que se les mantenga el nivel de electrolito y carga adecuados, el consumo diario no debería superar el 20% de su capacidad.

c) El regulador de carga debe poseer fuentes de referencia de muy buena calidad o en su defecto controlarse su calibración con una frecuencia trimestral.

ESTIMACION DEL ERROR OPERACIONAL DE UN TRANSDUCTOR DE FLUJO DE CALOR

Mariela Cristina Vieytes*, Vicente Leonardo Volantino, José Víctor Moruga.
 Unidad Técnica Habitabilidad Higrotérmica, CECON, INTI.
 Casilla de correo 157 (1650) San Martín, Prov. Buenos Aires, ARGENTINA
 Fax: 753-5784 - E-mail: vvolutanti@inti.gov.ar

RESUMEN

En este trabajo se analiza teóricamente el error operacional que se comete en las mediciones "in situ" del flujo de calor que atraviesa una pared dada. Dichos cálculos se realizan para una placa transductora de flujo de calor (fluxímetro) colocada en la superficie de dos paredes de comportamiento térmico muy diferente. Luego se comparan los resultados y se obtienen conclusiones sobre la confiabilidad de las mediciones en uno y otro caso.

INTRODUCCION

En el INTI se está abordando la tarea de certificación de distintos materiales y productos industriales. En el ámbito de la construcción, el CECON (Centro de investigación y desarrollo en construcciones) por su parte, está haciendo lo propio en diferentes líneas de acción. Una de ellas es la referida a la certificación energética de edificios, para lo cual se está trabajando en el análisis de los valores de transmitancia y resistencia térmica de los elementos de la envolvente. Por este motivo es necesario desarrollar técnicas de medición y procedimientos de evaluación con el instrumental portátil que existe actualmente en nuestros laboratorios.

Para la determinación de las magnitudes físicas mencionadas, es necesario conocer la densidad de flujo de calor que atraviesa el elemento a estudiar. La misma es medida con un transductor de flujo de calor. Este dispositivo consiste de una placa cuya región central es la zona de medición, rodeada por una región de guarda que contribuye a que el flujo de calor sea perpendicular a la superficie detectora[4]. Toda la placa posee un revestimiento que protege los componentes del sensor. La región de medición emplea juntas de unos 2000 pares de termocuplas Cobre-Constantan sobre los lados opuestos del material interior. Cuando un flujo de calor atraviesa la placa, una diferencia de temperaturas se establece en las juntas de las termocuplas generando una fuerza electromotriz que es directamente proporcional al flujo pasante. Un esquema del detector puede observarse en la Figura 1.

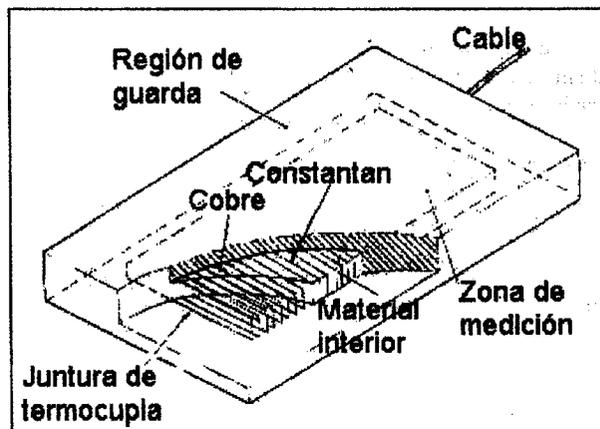


Figura 1: Esquema del fluxímetro.

Existen dos fuentes principales de error, la calibración del fluxímetro para el cual es necesario determinar el factor de proporcionalidad entre la fem inducida y el flujo de calor[3], y el llamado error operacional, que es el objeto de este estudio.

Si el fluxímetro fuera ideal, es decir infinitamente delgado y de las dimensiones de la pared a medir, el error operacional no existiría. Por lo tanto, el mismo es ocasionado por las dimensiones finitas que posee la placa, ya que desvía tanto las isotermas como el flujo de calor del elemento a medir con respecto a los valores originales a ser medidos. De lo mencionado se desprende que placas que posean un espesor mucho menor con respecto a sus otras dimensiones ofrecerán un error operacional menor.

* Becaria del CECON

Puesto que en algunos casos el error operacional puede alcanzar el 50%, es necesario establecer el orden de magnitud que posee en el rango de materiales que comúnmente se presentan en la práctica. La definición de dicho error es, según la norma ISO 9869[2]:

$$e = (q - q') / q' \quad (1)$$

donde q es la densidad de flujo de calor medida con el fluxímetro y q' es la que atravesaría la pared sin el fluxímetro.

METODO DE CALCULO

Para estimar el error operacional se debe resolver la ecuación diferencial bidimensional del calor en estado estacionario:

$$\nabla^2 T = 0 \quad (2)$$

donde T es la temperatura de la pared, ∇^2 es el operador Laplaciano. Es necesario imponer las condiciones de contorno correspondientes al problema que se quiere tratar, es decir la temperatura del aire a cada lado de la pared y la ecuación de balance térmico:

$$q = (Eh_r + h_c) (T_n - T_s) \quad (3)$$

donde q es la densidad de calor que atraviesa la pared o el fluxímetro (según sea el caso a resolver), E es el coeficiente de emisividad periférica, h_r el coeficiente de transmisión de calor por radiación, h_c el coeficiente de transmisión de calor por convección, T_s es la temperatura superficial de la pared o el fluxímetro (según la situación a resolver), y T_n es la temperatura ambiental. Las definiciones de estas cantidades según la norma ISO 9869[2] son:

$$h_r = 4 \sigma T_m^3 \quad (4)$$

$$T_m \equiv (T_r + T_s) / 2 \quad (5)$$

$$T_n = [Eh_r / (Eh_r + h_c)] T_r + [h_c / (Eh_r + h_c)] T_a \quad (6)$$

donde σ es la constante de Stefan-Boltzman ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$), T_m es la temperatura radiante media absoluta, T_r es la temperatura radiante media, T_a es la temperatura del aire.

Estos cálculos se realizan tanto para la pared sin la placa transductora, como con ella. Un método analítico aproximado se obtiene utilizando las funciones de Green[1].

En este caso, la ecuación (2) se resolvió a través de un código de cálculo que permite conocer los valores de la temperatura sobre la superficie y la transmitancia térmica del material a medir, bajo las condiciones de contorno impuestas. Debido a que se analiza el caso de la pared sin ningún elemento enfrentado a ella, se puede considerar que la temperatura radiante media es la del aire. Esto simplifica la ecuación de la temperatura ambiente ya que coincide con el valor de la del aire.

La transmitancia térmica se relaciona con el flujo de calor de la siguiente manera:

$$K = q / (T_{ni} - T_{ne}) \quad (7)$$

donde K es la transmitancia térmica, q es la densidad de flujo de calor que atraviesa la pared (en dirección perpendicular a la superficie), T_{ni} y T_{ne} son las temperaturas ambiente del interior y exterior a la pared respectivamente.

Si se hace uso de la ecuación (7) para la pared sin sensor y con sensor, es posible expresar el error operacional de la siguiente forma:

$$e = [K (T_i - T_e) - K' (T_i' - T_e')] / K' (T_i' - T_e') \quad (8)$$

donde las variables primadas corresponden a la pared sin el fluxímetro. Como en este caso las temperaturas ambientales a ambos lados corresponden a las del aire, la ecuación (8) se reduce a:

$$e = [K - K'] / K' \quad (9)$$

Por lo tanto una forma de estimar cuan grande es el error que se comete, es observando el cambio del coeficiente de transmitancia térmica. Si se lograra que dicho coeficiente no varíe al colocar el fluxímetro, se estaría anulando el error operacional.

RESULTADOS

Con la idea de estimar el orden de magnitud del error en todo el rango de materiales que se presentan en la práctica, se estudiarán dos casos extremos.

El primero es un panel sandwich de chapa galvanizada como revestimiento con núcleo de poliuretano rígido de 0,1m de espesor. Esta es una pared que típicamente se utiliza en cámaras frigoríficas.

El segundo es una pared de hormigón armado estructural de 0,1m de espesor. Esta pared representa el caso de un sistema muy conductor de calor, cuya utilización se ha podido comprobar en la construcción de viviendas de interés social.

En los dos cálculos se utilizaron las mismas temperaturas, siendo la interior de 18°C (condición de invierno para el nivel mínimo de confort higrotérmico) y la exterior de 0.7°C (temperatura exterior de diseño para una localidad del conurbano bonaerense), y áreas de 1m². En las Tablas 1 y 2 se pueden observar los parámetros característicos para ambas situaciones.

Tabla 1. Parámetros característicos para el caso aislante.

Material	Conductividad térmica (W/mK)	Densidad (Kg/m ³)	Capacidad calorífica específica (Wh/Kg K)
Aire	0.025	1.29	0.25
Flúxímetro	0.200	1000	0.27
Poliuretano rígido	0.020	35	0.27
Chapa galvanizada	58	7800	0.123

Tabla 2. Parámetros característicos para el caso conductor.

Material	Conductividad térmica (W/mK)	Densidad (Kg/m ³)	Capacidad calorífica específica (Wh/Kg K)
Aire	0.025	1.29	0.25
Flúxímetro	0.200	1000	0.27
Hormigón armado estructural	1.630	2400	0.24

En las Figuras 2 y 3 se muestra la distribución de temperatura en los dos casos analizados, mientras que los resultados de los cálculos se presentan en las Tablas 3 y 4 respectivamente.

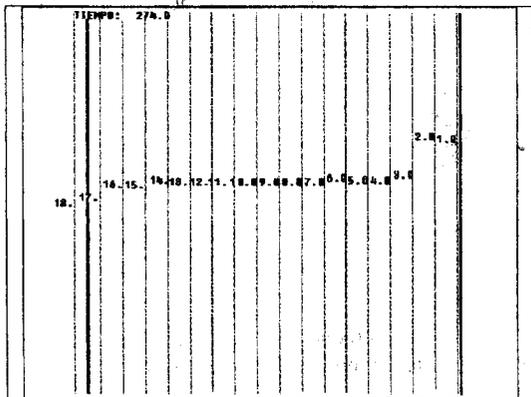


Figura 2a: Panel sandwich con núcleo de poliuretano.

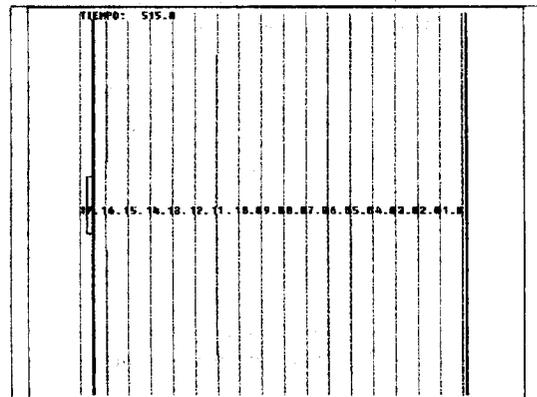


Figura 2b: Idem con sensor de flujo de calor.

Tabla 3: Resultados obtenidos para panel sandwich con núcleo de poliuretano.

K (W / m ² K)	K' (W / m ² K)	e (%)
0,190	0,192	1,0

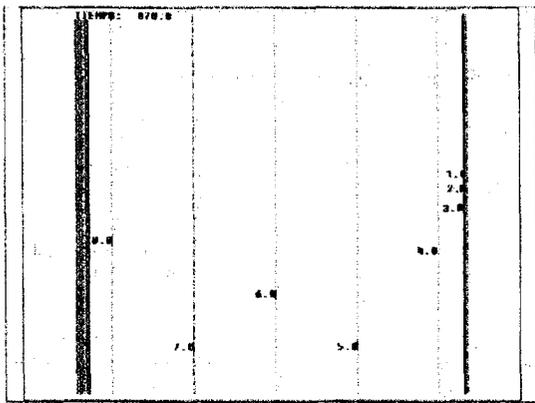


Figura 3a: Pared de hormigón armado estructural.

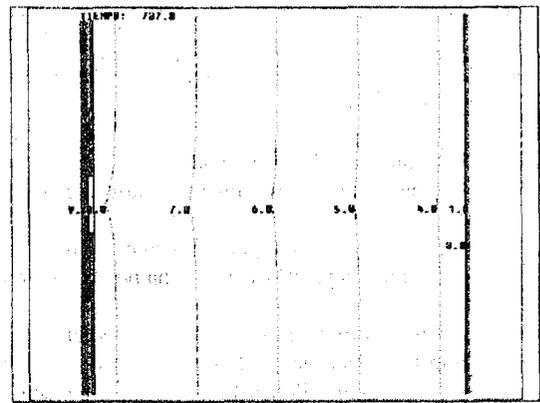


Figura 3b: Idem con sensor de flujo de calor.

Tabla 4: Resultados obtenidos para pared de hormigón armado estructural.

K ($W / m^2 K$)	K' ($W / m^2 K$)	e (%)
4,15	4,32	3,9

CONCLUSIONES

Los errores que se presentan en mediciones in situ de la transmitancia térmica se originan en diversos aspectos del proceso de medición. Pueden contarse entre ellos los cambios cíclicos de temperatura, los cambios en las temperaturas medias de cada ciclo, la relación entre las dimensiones del fluxímetro y las de la pared a ensayar, la ubicación del fluxímetro (puentes térmicos, roturas de la pared, etc.), influencia de las magnitudes climáticas, y las intrínsecas del detector usado que son las analizadas en este trabajo. La suma de todas ellas puede dar una exactitud en las mediciones realizadas que varía entre el 14% y el 28%, según la norma ISO 9869[2]. Es claro entonces, que el error operacional debe ser lo suficientemente pequeño como para que la medición pueda llevarse a cabo eficientemente.

Los resultados obtenidos en las Tablas 3 y 4 aseguran que el error operacional, tanto en los casos estudiados como en los casos con transmitancia térmica comprendida entre ellos, no aportará errores que hagan que los resultados carezcan de sentido. Además pueden compararse estos valores entre sí, resultando más exacto medir una pared aislante contra una conductora de calor. Estos resultados pueden relacionarse con los obtenidos en trabajos anteriores[1]. En la Figura 4 se observa que no hay perturbaciones del flujo de calor en un material perfectamente aislante mientras que si las hay, y son máximas, para uno idealmente conductor.

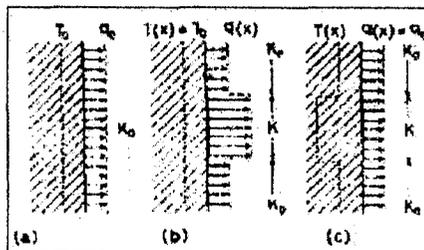


Figura 4: a) Pared sin sensor con un flujo de calor uniforme y perpendicular a la misma. b) Pared perfectamente conductora con sensor. c) Pared perfectamente aislante con sensor.

REFERENCIAS

- [1] Baba T, Ono A, Hattori S, Analysis of operational errors of heat flux transducers placed on wall surfaces. Rev. Sci. Instrum., 56 (1985).
- [2] ISO 9869, Thermal insulation- building elements- In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance.
- [3] ASADES'96, 05.9, Sistema de medición in situ para la evaluación de patologías higrotérmicas en la construcción, V. Volantino, G. Carlo.
- [4] ASTM C 1046-91, Standard practice for In situ measurement of heat flux and temperature on building envelope components.

BALANZA ELECTRONICA USANDO UN TRANSDUCTOR DE PRESION

L. Mealla Sánchez y L. Saravia *

INENCO †

Calle Buenos Aires 177, (4400) – Salta - Argentina

Tel. Fax: 087-255489

E-mail: meallal@unsa.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se presenta un sensor de peso basado en la medida de presión, que es sencillo, de bajo costo y fácil construcción, pudiendo utilizarse en experiencias solares como las de secado, por ejemplo. Un transductor de presión diferencial tiene dos salidas conectadas mediante mangueras a sendos fuelles de goma sellados, sobre uno de los cuales se ejerce una fuerza proporcional al peso a través de una doble palanca y el otro sirve de referencia y permite compensar las variaciones de presión debido a los cambios de temperatura, ya que ésta afecta por igual a los dos fuelles. La señal de tensión proporcional al peso se almacena en una PC después de pasar por una tarjeta de adquisición de datos.

INTRODUCCION

La medida de peso por medios electrónicos, su posterior digitalización y almacenamiento en una computadora, es de interés en el estudio de varios procesos (por ejemplo: secado de productos solares). Una de las formas de hacerlo es el uso de sensores que utilizan una pieza metálica deformable con el peso y resistencias electrónicas sensibles a esa deformación.

Comercialmente se usan balanzas electrónicas basadas en ese principio de funcionamiento, cuyo precio, que depende de su precisión, es en general elevado. La construcción de este tipo de instrumentos es delicada debido a la necesidad de asegurar una muy buena adhesión de las resistencias a la pieza metálica.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

En este trabajo se describe una alternativa de bajo costo cuyo sensor es muy fácil de ensamblar, obteniéndose una precisión adecuada para el estudio de diversos fenómenos que involucran variaciones de peso en función del tiempo. Los datos son registrados mediante un sistema de adquisición de datos.

El instrumento tiene dos partes: una mecánica y otra electrónica.

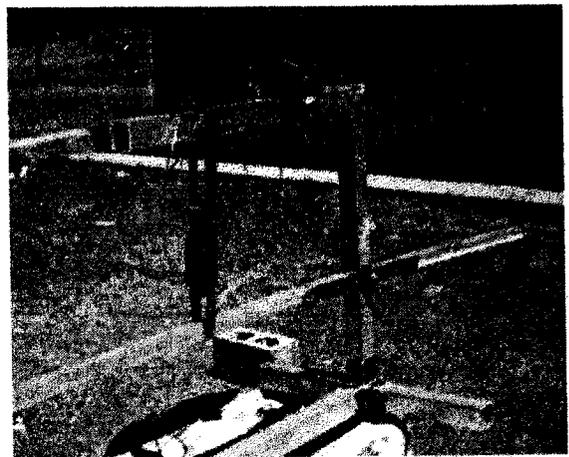
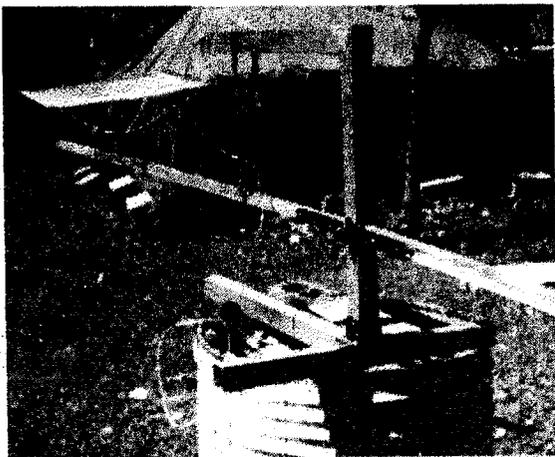


Figura 1. Esquema mecánico de la balanza

La parte mecánica se muestra en la fig. 1, consta de una palanca (una delgada barra de aluminio, construida de tal manera que no tenga deformaciones considerables) apoyada en un pivote formado de un buje sostenido por un perno, un fuelle de goma conectado a la barra mediante una cinta de aluminio que impide desplazamientos laterales y un plato de material liviano

* Investigador del CONICET

† Instituto UNSa - CONICET

(rejilla plástica) en donde se coloca la muestra a pesar. Este plato es construido de tal manera que el peso quede concentrado en un punto (esto se logra distribuyendo la muestra uniformemente en el plato). Se agrega un contrapeso en el lado opuesto al brazo de palanca de manera de corregir la diferencia en la señal electrónica de salida originada por el peso de la barra principal.

Dos fuelles de goma (en la fig. 1, el primero soportando la tensión de la barra y el segundo montado en la barra superior y que luego será ubicado al lado del primero al realizar la medición), de los usados en la industria automotriz para proteger los brazos de dirección, sellados mediante tapones del mismo material, usando abrazaderas metálicas de seguridad y pegamento para evitar pérdidas, tiene cada uno su única salida conectada a una manguera de plástico, que a su vez, se conectan a las salidas del transductor diferencial de presión. Uno de ellos está sometido a una tracción por parte de la palanca, lo que cambia la presión dentro del fuelle, y el otro se usa para compensar las variaciones de presión en el aire dentro de la primera cavidad debido a los cambios de temperatura, con lo cual la medida se independiza de las condiciones ambientales.

La parte electrónica, que tiene varias etapas, se muestra en el diagrama de dominios de la figura 2.

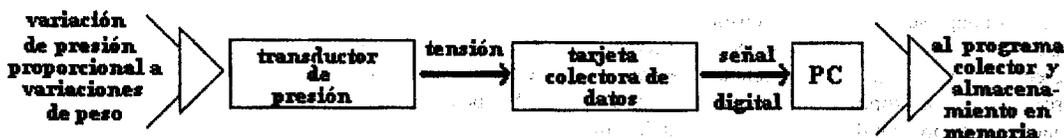


Figura 2. Diagrama de dominios.

El sensor diferencial de presión usado es el SX01DN, cuyo rango de medición es de 0 a 6900 Pa, tiene una sensibilidad de $7 \cdot 10^{-6}$ volts/Pa y está diseñado para una presión máxima de 130000 Pa. Este sensor de tipo puente, tiene 4 conexiones eléctricas, dos de las cuales sirven para alimentar el puente (se usa una fuente regulada de tensión de ± 5 Volt) y dos donde se mide tensión de salida.

FUNCIONAMIENTO

Una variación de peso en el plato, se traduce en una tracción sobre el fuelle de goma sujeto a la barra. Este se deforma generando una variación de presión en el aire contenido en el fuelle, que es sensada por el transductor de presión conectada a él. Dicho transductor emite una señal de tensión proporcional a la diferencia de presión de las dos cavidades. La variación de tensión de salida (obtenida experimentalmente) es del orden de 10^{-7} Volt/N.

Esta señal es introducida a la computadora a través de la plaqueta de toma de datos y luego se procesa para transformar esta información eléctrica en información de peso. Esto se realiza por un programa que tiene incluida una correlación deducida en forma experimental.

Para obtener una respuesta lineal del sensor y grandes variaciones de tensión con pequeñas variaciones de peso, se debieron realizar diversos ensayos, ajustándose la longitud de la palanca (L = distancia entre el punto de apoyo y el plato) y la posición del fuelle (l = distancia entre el punto de apoyo y el fuelle de goma). Se probó con cinco pesos distintos entre 0,98 y 4,9 N, con variaciones entre ellos de 0,98 N. Dos gráficos que representan algunos de esos conjuntos de mediciones se presentan en la figura 3, cada uno tiene su respectiva recta de ajuste.

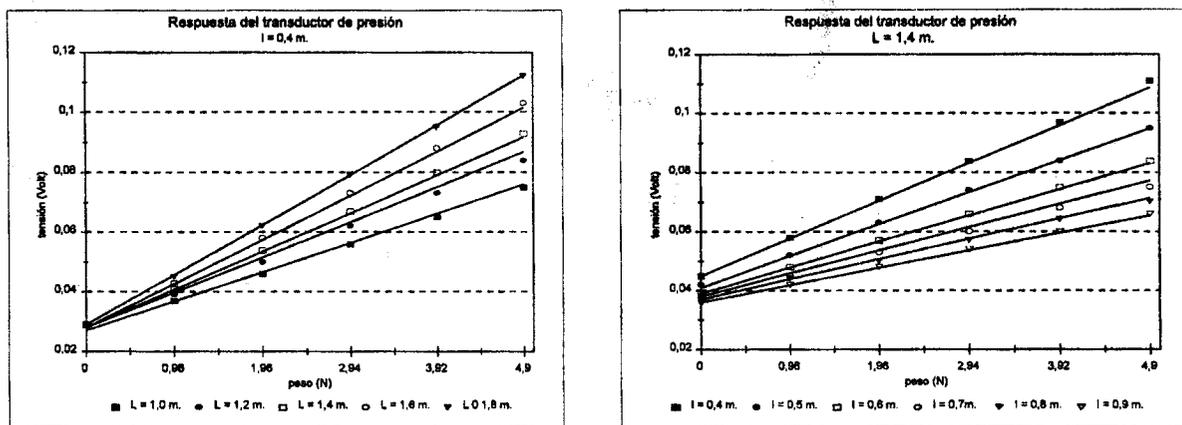


Figura 3. Respuesta para distintas posiciones características.

Ambos gráficos corresponden a dos grupos de mediciones realizadas en distinta fecha, en los cuales se puede observar que para un par de valores de longitudes ($L = 1,4$ m, $l = 0,4$ m) la pendiente se mantiene constante (0,013 Volts/N). Para otras combinaciones de longitudes similares en ambas fechas se observa lo mismo. Esto es un indicador de la repetibilidad del

instrumento con respecto a la pendiente. Cabe acotar que en todos los ajustes de rectas, el valor del parámetro estadístico R^2 es muy cercano a 1.

De todos los conjuntos de datos tomados se dedujo la siguiente relación entre la tensión y el peso:

$$W = (1/A) V_{in} \quad (1)$$

donde:

A : Pendiente de la recta deducida experimentalmente, en volts/N.

W : Peso de la muestra en Newton.

V_{in} : Tensión de entrada en Volts.

En esta expresión no se ha incluido el corrimiento del cero que se advierte en la fig. 3, debido a que éste se debe al peso de la barra y a variaciones de temperatura en la electrónica del sensor. Esto no es de importancia debido a que en la aplicación en que se lo utiliza (secado), solo interesan variaciones de peso, eso está asegurado al tener repetibilidad en lo que respecta a la pendiente. Además el peso de la barra se elimina del offset posicionando en contrapeso para tener un valor de tensión mínimo.

La tarjeta de colección de datos cuenta con 16 entradas analógicas, cada una se puede configurar para valores simétricos de tensión respecto de cero ($\pm V_{\text{rango}}$). El peso máximo que se puede medir será V_{rango}/A . La tarjeta tiene un conversor A/D de 12 bits, por lo que la sensibilidad en peso del medidor es $V_{\text{rango}}/A \cdot 2^{12}$

CONCLUSIONES

Construido adecuadamente, el uso de este sensor se justifica por las siguientes razones: bajo precio, sencillez constructiva, baja sensibilidad a las condiciones ambientales.

El rango de pesos en estas experiencias se estableció entre 0 y 4,9 N, este último es el valor máximo que se debe medir en la experiencia para la que fue diseñado.

El valor de R^2 para todas las experiencias es muy cercano a 1, lo cual indica una respuesta muy lineal del sistema.

La elección del par de valores para l y L se debe hacer respetando determinados compromisos en lo referente a mayor pendiente y menor ángulo que forma la barra principal con la horizontal cuando se coloca en el plato el peso máximo (en nuestro caso debido a la aplicación en que se utilizara se eligió l = 0,4 m y L = 1,6 m, para tal par de valores se tiene una pendiente de $1,5 \cdot 10^{-2}$ volts/N).

El rango de medición se puede ampliar, cambiando el sensor de presión por cualquier otro de la serie SX. Pudiendo encontrarse algunos que miden diferencias de $1,03 \cdot 10^6$ Pa. También se puede modificar adicionando una etapa amplificadora entre el sensor y la tarjeta, pero se corre el riesgo de tener errores por variaciones de temperatura que afectan al circuito.

La configuración de la tarjeta de colección de datos se debe adecuar a la precisión con la que se quiere medir, en nuestro caso se configuró en ± 1 volts (la salida de tensión a máxima escala supera por poco la décima de Volts), por lo que se tiene una sensibilidad de $6,6 \cdot 10^{11}$ N.

AGRADECIMIENTOS

L. Mealla Sánchez agradece a los Ing. D. Hoyos y C. Cadena por la invaluable colaboración prestada durante la elaboración del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Catálogo G.M. Electrónica S.A. (1996), Lista N° 21.
Tompkins W.J. y Webster J.G. (1985) *Interfacing Sensors to the IBM PC*, Editors University of Wisconsin-Madison,
Schilling D.L. y Belove CH. (1985) *Circuitos Eléctricos Discretos e Integrados*, Marcombo Boixareu Editores.

**FABRICACIÓN DE SOLARÍMETROS DE BAJO COSTO EN LA ARGENTINA:
ALGUNAS PROPUESTAS TEÓRICAS Y PRIMERAS EXPERIENCIAS**

J.C. Durán, C.G. Bolzi, E.M. Godfrin, J.C. Plá, L.M. Merino, C.J. Bruno, M.J.L. Tamasi
Grupo Energía Solar - Depto. de Física - Centro Atómico Constituyentes
Comisión Nacional de Energía Atómica
Av. Gral. Paz km 6,5 - 1650 Villa Maipú
Tel: 754-7131 - Fax: 754-7121 - E-mail: duran@cnea.edu.ar

RESUMEN

Se iniciaron actividades de diseño teórico y desarrollo experimental de sensores de radiación solar de bajo costo basados en celdas fotovoltaicas de silicio cristalino. En particular, se analizaron las principales limitaciones, asociadas a la respuesta espectral de las celdas, que atentan contra la precisión de la medición en este tipo de sensores. Se estudiaron y optimizaron multicapas dieléctricas sencillas para ser depositadas sobre el fotodiodo, en reemplazo del tratamiento antirreflectante convencional, de manera de lograr una respuesta espectral lo más plana posible en el rango de longitudes de onda de 350nm a 1000nm. Se realizaron las primeras experiencias de fabricación de piranómetros con celdas solares elaboradas en la CNEA cubiertas con un vidrio esmerilado como difusor frontal.

INTRODUCCIÓN

El uso de piranómetros que utilizan como elemento sensor un fotodiodo de silicio (básicamente, una celda fotovoltaica) se halla fuertemente difundido para la medición de radiación solar, debido a su bajo costo comparado con el de piranómetros basados en termopilas. Los principales inconvenientes de los fotodiodos son: (i) su respuesta espectral limitada y no plana, y (ii) el apartamiento considerable de su respuesta espectral con respecto a la dependencia con el coseno del ángulo de incidencia. Como consecuencia de ello, los valores de irradiación medida pueden diferir de los reales en más de un 10%, dependiendo el error de la altura del Sol y de las condiciones meteorológicas.

Recientemente, diferentes autores propusieron alternativas para mejorar la precisión de piranómetros basados en celdas solares. King y Myers sugirieron nuevos procesos de calibración (King y Myers, 1997). En particular, analizaron el comportamiento de estos sensores en función del ángulo de incidencia y de la masa atmosférica (AM) atravesada por la radiación incidente sobre los mismos. Como resultado de estos estudios, propusieron expresiones analíticas semiempíricas para corregir la lectura del instrumento. Otra propuesta más sofisticada y, en consecuencia, más costosa, es la realizada por M. Gruffke *et al.*. En este caso, el solarímetro desarrollado consta de 135 sistemas ópticos tubulares, con un sensor de silicio en uno de sus extremos, ubicados radialmente sobre una superficie semiesférica (M. Gruffke *et al.*, 1998). En consecuencia, se gana en precisión pero a costa de un importante aumento en la complejidad del dispositivo.

Teniendo en cuenta la necesidad de disponer en el país de sensores de radiación solar confiables y de bajo costo, se iniciaron actividades tendientes a diseñar y construir en el país este tipo de sensores, aprovechando la experiencia adquirida en el desarrollo de celdas solares de silicio cristalino. En el presente trabajo, se analizan teóricamente variantes en el diseño de la celda solar que permitan mejorar su respuesta espectral con vistas a su utilización como piranómetro. En particular, se estudian y optimizan multicapas dieléctricas sencillas para ser depositadas sobre el fotodiodo, de manera de lograr una respuesta espectral más plana en el rango de 350nm a 1000nm. Finalmente, se describe brevemente el proceso de elaboración de los dispositivos.

LAS TÉCNICAS ANTIRREFLECTANTES Y SU RELACIÓN CON LA RESPUESTA ESPECTRAL

Las propiedades que debe satisfacer un fotodiodo para su utilización como celda solar o como sensor de radiación solar son claramente diferentes. Mientras que la primera está diseñada para maximizar la energía generada ante iluminación con radiación solar, el segundo debe poseer una respuesta espectral lo más plana y extendida posible, y una dependencia en función del ángulo de incidencia de la radiación proporcional al coseno de dicho ángulo.

Una celda solar convencional consta esencialmente de una estructura del tipo n^+pp^+ o n^+p realizada sobre un semiconductor apropiado (por ejemplo, silicio). El alto índice de refracción de los semiconductores hace necesario el uso de técnicas antirreflectantes (AR) para minimizar la reflectividad superficial, maximizando en consecuencia la fracción de energía absorbida por la celda. La Fig. 1 muestra el espectro de radiación solar AM1,5 junto con una respuesta espectral típica de una celda solar de silicio cristalino, donde se observa un comportamiento fuertemente dependiente de la longitud de onda y con un máximo desplazado con respecto al del espectro solar. Esta respuesta espectral depende de las propiedades electrónicas (longitud de difusión de portadores, velocidades de recombinación en las superficies, etc.) y estructura del

dispositivo (dopajes superficiales, profundidades de juntas, etc.), así como del tratamiento AR. Es posible modificar algunas características de la respuesta espectral de la celda, por ejemplo el ancho de la campana o la caída en las longitudes de onda cortas ($0,3-0,4\mu\text{m}$) o largas ($1,0-1,1\mu\text{m}$), variando durante el proceso de elaboración parámetros tales como profundidad y dopaje de las juntas. Sin embargo, ello no permite lograr una respuesta espectral más plana, lo que sí puede hacerse modificando las capas dieléctricas depositadas sobre la superficie de la celda.

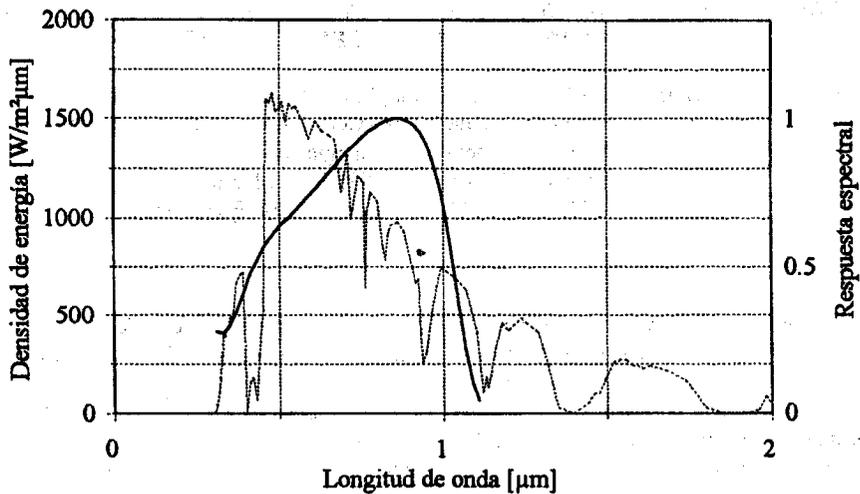


Figura 1: Respuesta espectral (normalizada) típica de una celda solar de silicio monocristalino (—) y espectro solar AM1,5 (....).

Las técnicas AR usuales en celdas solares son (ver, por ej., Zaho y Green, 1991): a) depósito de una o dos capas dieléctricas, b) textura superficial, y c) una combinación de ambas. Todas ellas modifican, en mayor o menor medida, la respuesta espectral interna del dispositivo. En el caso a), se seleccionan el o los materiales dieléctricos con índices de refracción intermedios entre el silicio y el aire o la cubierta protectora (según la utilización que se le vaya a dar a la celda), determinándose los espesores óptimos maximizando la corriente de cortocircuito (Bolzi *et al.*, 1995). Ejemplos de monocapas apropiadas son el ZnS y el TiO_2 , y de bicapa, ZnS-MgF_2 . La reflectancia espectral de una superficie de silicio con una doble capa de ZnS-MgF_2 , sin cubierta protectora, puede verse en la Fig. 2, observándose los dos mínimos que caracterizan las bicapas AR.

Por su parte, la textura superficial en obleas de Si cristalino (100) consiste en la formación de pirámides de base cuadrada, con tamaños típicos entre 1 y $5\mu\text{m}$, mediante ataques químicos anisótropos (King y Buck, 1991). Esta geometría se comporta como AR dado que produce reflexiones dobles y triples de los rayos incidentes, reduciendo la reflectividad de la superficie de Si de $33,5\%$ a aproximadamente el 10% . A diferencia de las multicapas, la textura superficial muestra un comportamiento prácticamente independiente de la longitud de onda de la radiación incidente.

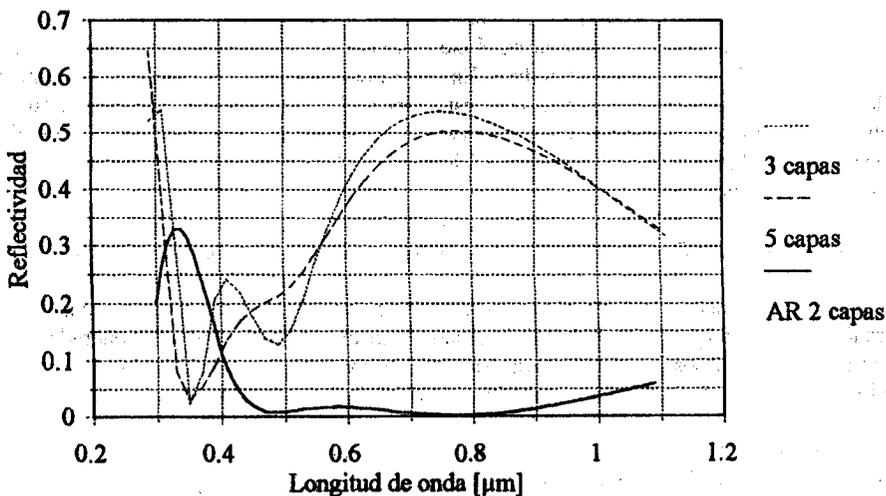


Figura 2: Reflectancia espectral de una superficie no texturada de silicio monocristalino con una bicapa convencional (ZnS-MgF_2), y con 3 ($\text{SiO}_2\text{-MgF}_2\text{-ZnS}$) y 5 ($\text{SiO}_2\text{-MgF}_2\text{-ZnS-MgF}_2\text{-ZnS}$) capas optimizadas para lograr una respuesta plana.

Teniendo en cuenta que la textura superficial prácticamente no modifica la respuesta espectral interna de la celda, en principio se descartó esta alternativa para su uso en sensores y se decidió analizar teóricamente la transmitancia de diversos sistemas de multicapas sobre silicio cristalino no texturado. La optimización de los mismos se realizó minimizando la dispersión de la respuesta eléctrica (o sea, haciendo la respuesta espectral lo más plana posible) en intervalos de longitud de onda de interés, compatible con el rango de respuesta del silicio cristalino ($\lambda < 1,1\mu\text{m}$). Dado que el proceso de elaboración de las juntas da por resultado un dispositivo con un óxido superficial, éste fue incluido en la optimización. Se analizaron los siguientes sistemas: (i) Si-SiO₂-ZnS-Vidrio, (ii) Si-SiO₂-MgF₂-ZnS-Vidrio, y (iii) Si-SiO₂-MgF₂-ZnS-MgF₂-ZnS-Vidrio. Las Figs. 2 y 3 muestran, respectivamente, la reflectancia y la respuesta espectral resultantes para los casos (ii) y (iii) óptimos. En la Fig. 3 se da como referencia la respuesta espectral de una celda solar convencional con bicapa AR.

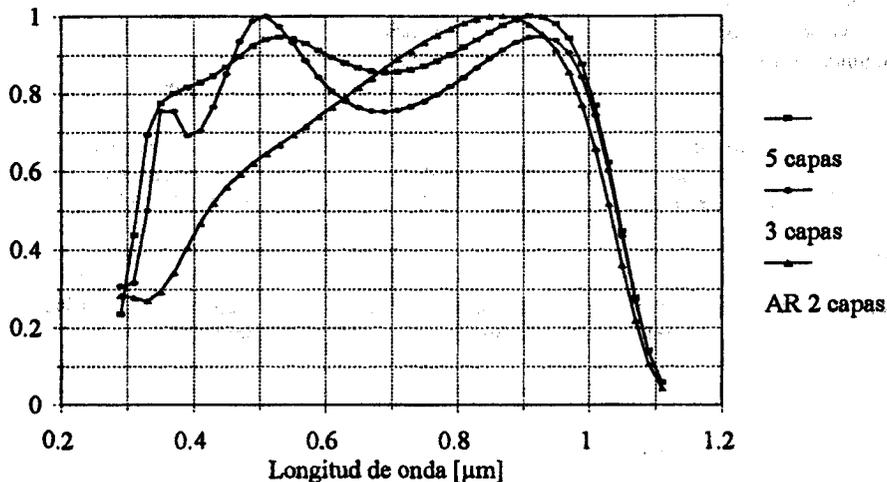


Figura 3: Respuesta espectral de una celda solar de silicio monocristalino con una bicapa convencional (ZnS-MgF₂), y con 3 (SiO₂-MgF₂-ZnS) y 5 (SiO₂-MgF₂-ZnS-MgF₂-ZnS) capas optimizadas para lograr una respuesta plana.

PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS SENSORES

Se incluye en esta sección un breve resumen del proceso de elaboración de las celdas solares a utilizar como sensores de radiación solar, el detalle correspondiente puede verse en publicaciones anteriores (Bolzi *et al.*, 1995; Plá *et al.*, 1998). Las celdas desarrolladas poseen una estructura del tipo n⁺pp⁺. Se utiliza como material de partida obleas de Si monocristalino, crecido mediante la técnica Czochralski, de origen comercial. El proceso de elaboración consta, básicamente, de las siguientes etapas: pulido químico de las obleas, evaporación de Al en una de las caras, generación de las juntas n⁺p y pp⁺, y depósito de los contactos frontal y posterior. Estas etapas se complementan con limpiezas de las muestras, al comienzo y en pasos intermedios.

Entre los diversos métodos propuestos en la bibliografía para la generación de las juntas, se decidió utilizar el método de un paso desarrollado por Basore *et al.*, 1994, y algunas variantes del mismo (Tamasi *et al.*, 1998). En ellos la generación de las juntas n⁺p y pp⁺ se realiza simultáneamente, a una temperatura de 900°C, utilizando una fuente líquida de dopante tipo n (POCl₃), para la primera, y el Al previamente evaporado, para la segunda. Los contactos se obtienen por evaporación, en cámara de vacío, de una multicapa de Ti-Pd-Ag sobre la superficie de Si, utilizando técnicas de fotolitografía para la definición de la grilla de contacto frontal.

Cabe destacar que la capa de SiO₂ crecida sobre la superficie frontal de la celda durante el proceso de difusión tiene, usualmente, un espesor del orden de las decenas de nm. Esta capa influye en las características ópticas de la multicapa dieléctrica que se deposite luego, ya sea ésta de características antirreflectantes o para obtener una respuesta espectral tan plana como sea posible. Por esta razón, en el proceso de optimización teórica de las multicapas presentado en la sección anterior, se incluye una capa de SiO₂.

Las primeras celdas elaboradas para la construcción de sensores de radiación tienen las siguientes características: área activa de aproximadamente 4,5 cm², tensión de circuito abierto de 550-600 mV, corriente de cortocircuito de 110-130 mA, y espesores de SiO₂ de alrededor de 30nm. Estas primeras celdas no poseen multicapas dieléctricas para modificar su respuesta espectral.

El armado final del piranómetro se realiza conectando la celda a una resistencia de carga (típicamente de 1Ω) y pegando sobre la celda un vidrio. A fin de mejorar la respuesta angular del sensor, se realiza un esmerilado de la cara exterior de dicho vidrio mediante una técnica del tipo del arenado. El pegado debe ser realizado mediante un adhesivo resistente a la radiación solar (o sea que no se opaque durante la exposición). En estas primeras experiencias, se utilizó el Dow Corning

93-500. Cabe mencionar que el índice de refracción de este adhesivo es muy similar al del vidrio y, por lo tanto, no afecta el proceso de optimización de la multicapa dieléctrica presentado previamente.

CONCLUSIONES

Las celdas solares de silicio cristalino modificadas para su uso como sensores de radiación solar representan una alternativa de bajo costo para la realización de mediciones solarimétricas. Si bien aún no ha sido realizada la calibración de los primeros sensores fabricados, es posible afirmar que la tecnología desarrollada previamente en el Laboratorio Fotovoltaico de la CNEA es apropiada para tal fin.

La modificación de la respuesta espectral interna de la celda de silicio cristalino, a fin de lograr una respuesta más plana en el rango de longitudes de onda de 350 a 1000 nm, puede realizarse mediante el simple proceso de evaporación de 1, 2 o 4 capas en cámara de vacío. Actualmente, se están realizando los primeros depósitos de multicapas de MgF_2 y ZnS , según lo descrito en la segunda sección de este artículo. Asimismo, se están evaluando alternativas consistentes en el agregado de un colimador entre la celda y el difusor a fin de controlar el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre la celda solar.

Una vez finalizada la fabricación de un conjunto de sensores con diferentes características, los mismos serán evaluados tanto en lo que se refiere a su comportamiento en función del ángulo de incidencia cuanto en su respuesta espectral. La calibración final de los sensores será realizada por personal de la Red Solarimétrica del Servicio Meteorológico Nacional.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto de desarrollo de sensores de radiación solar presentado se originó en interesantes charlas con el Dr. H. Grossi Gallegos, quien, sin duda, continuará colaborando en importantes etapas futuras del mismo.

REFERENCIAS

- Bolzi C.G., Bruno C.J., Campitelli E., Durán J.C., Godfrin E.M., Lamagna A., Merino L.M., Plá J.C. y Venier G.L. (1995). Estado actual del desarrollo de celdas solares de silicio en la CNEA. *Anales de la Asociación Física Argentina* 7, 209-212.
- Basore P.A., Gee J.M., Buck M.E., Schubert W.K. y Ruby D.S. (1994). Simplified high-efficiency silicon cell processing. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 34, 91-100.
- Grufke M., Heisterkamp N., Matzak S., Ortohann E. y Voss J. (1998). Solar irradiation measurement with silicon sensors. *Proceedings of the 2nd. World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion*, en prensa.
- King D.L. y Buck M.E. (1991). Experimental optimization of an anisotropic etching process for random texturization of silicon solar cells. *Proceedings of the 22nd. IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp. 303-308.
- King D.L. y Myers D.R. (1997). Silicon photodiode pyranometers: operational characteristics, historical experiences, and new calibration procedures. *Proceedings of the 26th. IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp. 1285-1288.
- Plá J.C., Godfrin E.M. y Durán J.C. (1998). Diseño, elaboración y caracterización de celdas solares de silicio cristalino con textura superficial. *Energías renovables y Medio Ambiente* 4, 1-5.
- Tamasi M.J.L., Plá J.C., Bolzi C.G., Martínez Bogado M.G., Venier G.L. y Durán J.C. (1998). Comparison of different simple fabrication processes for high efficiency silicon solar cells. *Proceedings of the 2nd. World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion*, en prensa.
- Zaho J. y Green M.A. (1991). Optimized antireflection coatings for high efficiency silicon solar cells. *IEEE Transactions on Electron Devices* 38, 1925-1934.

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA CON EL CONTENIDO DE HUMEDAD PARA MUESTRAS DE YESO

S. Flores, G. Lesino
INENCO, CIUNSA^(*)

Universidad Nacional de Salta

Buenos Aires 177 - 4400 Salta - República Argentina

Tel: 54-87-255423 - Fax: 54-87-255489 - Email: seflores@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

En muchas situaciones es necesario medir el contenido de humedad de una muestra, y esta determinación se hace indispensable en el caso de restauración de monumentos históricos, construcciones, obras pictóricas, etc., en los que el análisis debe ser, además, no destructivo. La humedad influye directamente en las propiedades térmicas del material, por lo cual mediciones sobre estas propiedades brindan información sobre el contenido de agua. El conocimiento de la difusividad térmica es el paso preliminar para luego realizar la determinación de la conductividad térmica k y del contenido de humedad presente en la muestra estudiada. En este trabajo se describe un método con técnica láser no destructivo utilizado para determinar el comportamiento de la difusividad con el contenido de humedad en muestras de yeso.

INTRODUCCIÓN

La difusividad térmica α (m^2/s) se define como:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (1)$$

donde ρ es la densidad del sólido en kg/m^3 , k su conductividad térmica en $W/m^\circ C$ y c_p la capacidad calorífica a presión constante en $J/kg^\circ C$.

La difusividad térmica mide la velocidad con que los cambios de temperatura ocurren en la muestra, por lo que es esencial en el proceso de transmisión de calor en régimen transitorio. Así como la conductividad térmica es un factor que indica la capacidad del sólido para conducir el calor, la difusividad es la medida de su inercia térmica.

La humedad de la muestra influye sobre la difusividad térmica: como α es la relación de la conductividad térmica a la capacidad calorífica y a la densidad, el comportamiento de la difusividad en un sólido es el resultado de la variación de estas propiedades con el contenido de humedad.

MODELO MATEMÁTICO

La superficie del material, considerado homogéneo e isotrópico, recibe un flujo de calor Q constante proveniente de un haz láser, que incide en un área circular de radio a . Como el cuerpo absorbe sólo una parte de la radiación incidente, el flujo a ser considerado es $q = \gamma Q$, en donde γ es la absorptividad del material en la longitud de onda correspondiente a la de la radiación láser. Si, como primera aproximación al problema, se supone que el contenido de humedad de la muestra permanece constante, entonces la disipación de calor se llevará a cabo por dos mecanismos: por conducción radial y axial, por lo cual la muestra sufrirá un incremento de temperatura, y por pérdidas convectivas y radiativas hacia el ambiente a través de un coeficiente global h que se supone constante durante el calentamiento.

El problema queda determinado, entonces, por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \quad (2)$$

con las siguientes condiciones iniciales y de contorno:

^(*) Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta.

$$\begin{aligned}
T(r, z, t = 0) &= T_{amb} \\
-k \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} &= \begin{cases} q - h(T|_{r,z=0,t} - T_{amb}) & \text{si } r \leq a \\ -h(T|_{r,z=0,t} - T_{amb}) & \text{si } r \geq a \end{cases} \quad (3) \\
-k \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=L} &= -h(T|_{r,z=L,t} - T_{amb}) \\
T(r \rightarrow \infty, z, t) &= T_{amb}
\end{aligned}$$

Este sistema puede resolverse por el método de diferencias finitas, entre cuyos parámetros estará la difusividad térmica α . Experimentalmente se obtiene una curva de calentamiento que será aproximada por este método haciendo variar los parámetros intervinientes hasta encontrar los que mejor la ajustan (método de cuadrados mínimos).

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Montaje de la experiencia

En la Figura 1 se pueden observar los elementos que intervienen en una sesión de medición:

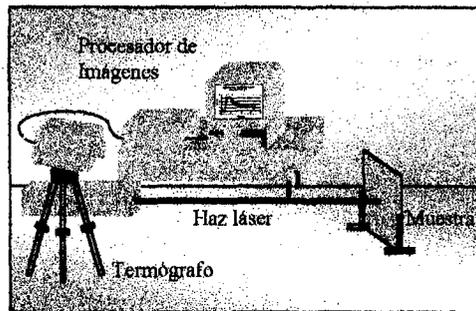


Figura 1: Disposición de los elementos de la experiencia

La muestra, colocada en un soporte (si es pequeña) o irradiada directamente (si es extensa), debe colocarse perpendicularmente al haz láser. El termógrafo (Inframetrics Model 600) se coloca frente a la muestra, a una distancia no superior a 1.5 m. Los datos obtenidos por el termógrafo son enviados a un procesador de imágenes ITEX-MFG y procesados por un programa (TERMO) especialmente desarrollado para el tratamiento de imágenes, cuya descripción se encuentra en trabajos anteriores (1).

Para la irradiación se utilizó un láser de potencia de argón, en la longitud de onda de 514 nm (verde), que es la línea más potente que puede obtenerse del equipo, con potencias comprendidas entre 0.5 W y 1.5 W. El equipo cuenta con una abertura graduada de 0 a 12, que permite variar el diámetro efectivo del haz.

Se utilizó yeso proveniente de placas Durlock del tipo que se utiliza en la construcción. Al ser el yeso muy higroscópico, es especialmente útil para obtener muestras con distintos contenidos de humedad, lo cual permite hacer un estudio de la variación de la difusividad térmica con el contenido de humedad.

Para tal fin se cortaron 6 muestras de 10cm x 10 cm y se las sumergió en un recipiente con agua durante 1 minuto. A continuación se retiraron las muestras y se las colocó a secar en un horno a 100°C. Para obtener distintos contenidos de humedad, las muestras se fueron retirando a distintos intervalos de tiempo, colocándolas inmediatamente en una bolsita plástica para impedir cualquier tipo de variación del contenido de agua presente.

Luego de haber realizado la experiencia, las muestras se colocaron en el horno durante 8 horas para extraer la humedad restante. Todas las muestras se pesaron con balanza electrónica, obteniéndose el contenido de humedad como:

$$w = \frac{P_{húmedo} - P_{seco}}{P_{seco}} \quad (4)$$

Las muestras fueron irradiadas de la forma descrita anteriormente, y los valores de difusividad térmica se obtuvieron por el método de aproximación por cuadrados mínimos.

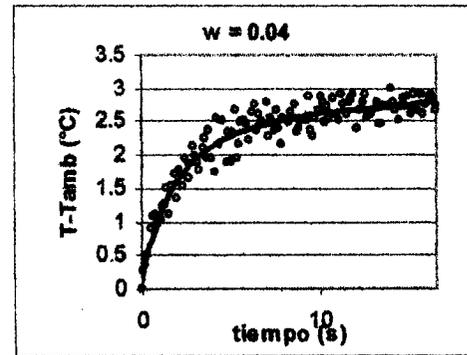
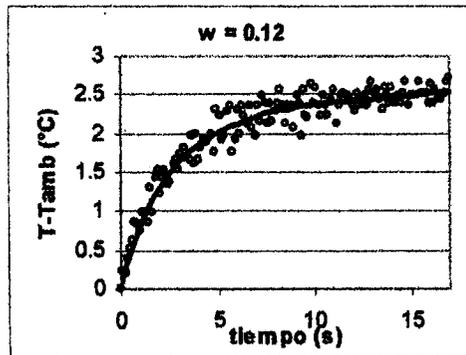
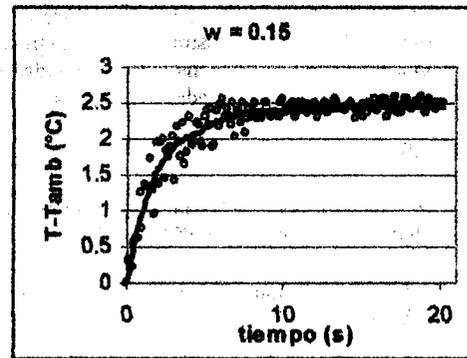
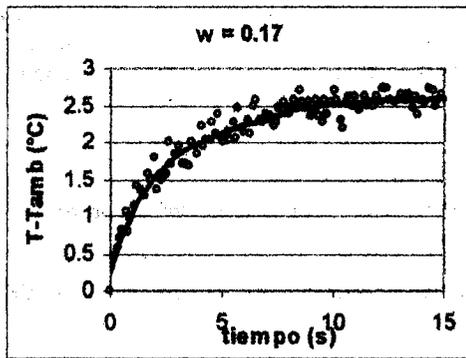
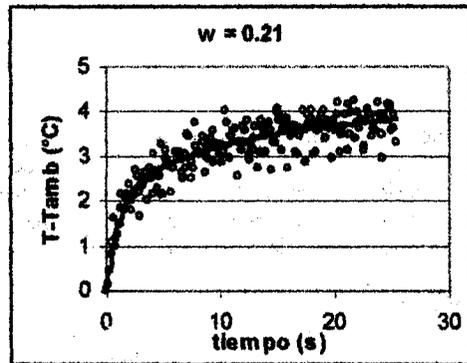
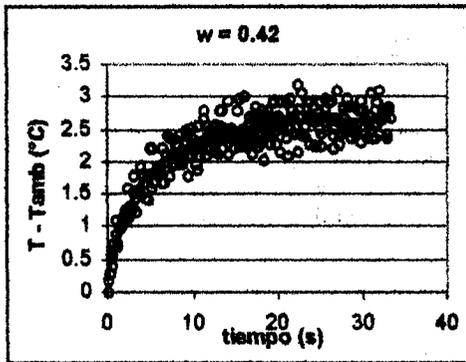
Resultados experimentales

Los valores medidos del peso, tiempo de secado, contenido de humedad y difusividad térmica resultantes para cada una de las muestras están presentados en la siguiente tabla:

N° Muestra	Tiempo secado (h)	P _{húmedo} (g)	P _{seco} (g)	W	α
1	30'	21.20	14.90	0.42	$2,13 \cdot 10^{-7}$
2	1 h	18.23	15.05	0.21	$3,21 \cdot 10^{-7}$
3	1 h 50'	17.65	15.10	0.17	$3,40 \cdot 10^{-7}$
4	2 h 10'	15.65	13.65	0.15	$4,48 \cdot 10^{-7}$
5	2 h 50'	14.55	12.98	0.12	$2,90 \cdot 10^{-7}$
6	4 h 50'	17.58	16.87	0.04	$4,95 \cdot 10^{-8}$

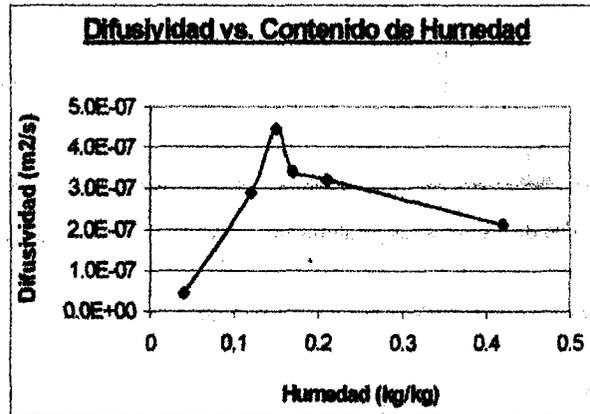
Tabla 1 : humedad de las muestras y valores medidos de las difusividades térmicas

Los datos experimentales y las curvas ajustadas pueden verse en las siguientes figuras:



Se observa que el aumento de temperatura no supera los 4°C que, en la mayoría de los casos, es menor que las propias variaciones ambientales que sufre la muestra a lo largo del año.

Para observar la variación de la difusividad térmica con el contenido de humedad se graficó α vs. w , obteniéndose lo siguiente:



Se observa que al principio la difusividad térmica sufre un fuerte incremento con el contenido de humedad, llegando a un pico máximo en alrededor del 15% de humedad, y decrece más lentamente al pasar este pico. Debido a que la conductividad térmica y la densidad aumentan con el contenido de humedad, se puede concluir que la adición de agua incrementa la conductividad térmica relativamente más que a la capacidad calorífica si la humedad es menor del 15%, y lo contrario es cierto para una adición posterior de agua en el sólido.

CONCLUSIONES

El método descripto permite determinar la difusividad térmica de un material mediante un ensayo no destructivo, debido a que la variación de temperatura que sufre la muestra durante la medición no la daña ni altera en ningún sentido. Además, el método puede ser utilizado in situ y/o para muestras en lugares de difícil acceso. La variación de la difusividad térmica con el contenido de humedad (de alrededor del 900% entre los casos extremos) permite inferir que es un buen parámetro para indicar esta variación cuando las muestras son muy higroscópicas. El comportamiento de otros materiales diferentes del yeso será similar, aunque la variación máxima de la difusividad y la forma de alcanzar este máximo dependerán en gran medida de la higroscopicidad y compactidad de cada uno de ellos.

REFERENCIAS

Hoyos D. et al., "Sistema de medición y procesamiento de temperatura usando un termógrafo", Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.1 N°2, pp.21-23, 1997.

Grinzato E. Et al., "Evaluation of moisture content in porous material by dynamic energy balance", SPIE Vol. 1682, Thermosense XIV, Italia, 1992.

Carlslaw J. Et al., "Conduction of Heat in Solids", Oxford University Press, Inglaterra, 1959.

METODO DE MEDIDA DE VELOCIDAD EN FLUIDOS USANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES

Daniel Hoyos e Irene De Paul
 INENCO¹

Buenos Aires 177- 4400 Salta hoyosd@unsa.edu.ar

RESUMEN

En la optimización del diseño de un sistema solar, se requiere en algunos casos, estudiar el movimiento del fluido dentro del mismo. En este trabajo, se presenta un método basado en la interferencia digital de dos patrones de trazadores, que se encuentran dentro del fluido en movimiento, los trazadores pueden ser por ejemplo: bolitas huecas de vidrio en suspensión dentro de un líquido o gotitas de agua en el aire. Se determina el desplazamiento de un patrón con respecto del otro en módulo y dirección lo que permite calcular la velocidad, iluminando con un haz de luz láser y tomando con una cámara imágenes del movimiento a intervalos de tiempo regulares. Las imágenes son ingresadas a una computadora y procesadas convenientemente. El método de medida fue desarrollado sobre la plataforma KHOROS y el programa de toma de imágenes sobre el framegrabber ITEX-MFG en C.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA



Fig. 1: Sistema de medida

El sistema a medir debe ser transparente y contener algún tipo de trazador, el mismo es atravesado por un plano de luz láser que define la zona donde se realizará la medida. La luz láser es dispersada por los trazadores y la cámara obtiene una imagen de la posición de los trazadores en ese instante. Este sistema está descrito en referencia [1]. El programa de toma de imágenes puede adquirir: verdadero color, rojo, verde y azul. Al emitir el láser, luz con longitudes de onda correspondiente al verde, se utiliza el mismo para tomar las imágenes. El programa toma tres imágenes verdes desplazadas en un lapso definido de tiempo, guardando esta información como un archivo TIF para su posterior procesamiento. Un ejemplo de esta imagen es presentado en la figura 2 en que se muestra el vapor de agua en suspensión en el interior de un destilador real, las mismas están separadas en el orden que fueron tomadas.



Figura 2 :Secuencia de imágenes

¹ Instituto UNSA Conicet

Este programa fue desarrollado en MSC 5.00 y permite fijar el tiempo entre tomas de imágenes; el mínimo está en los 100 milisegundos. Puede realizar múltiples tomas de esta secuencia con un mínimo de un segundo entre tomas; este retardo se debe al tiempo de grabación del archivo en el disco duro, el tiempo de demora en la secuencia es debida a la comunicación de la computadora con el framegrabber y los pasos que debe realizar el programa.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE MEDIDA

Para determinar el desplazamiento entre dos imágenes, formadas por la posición de trazadores, se aplica una técnica de interferometría digital, que consiste en tomar dos imágenes, sumarlas y calcular la transformada de Fourier. Si las imágenes utilizadas son similares entre sí, aparece un patrón de franjas, en donde la distancia entre las franjas es inversamente proporcional al desplazamiento de los trazadores. La figura 3 presenta una simulación del método en la que se realizó un desplazamiento de un patrón de trazas en la dirección horizontal.

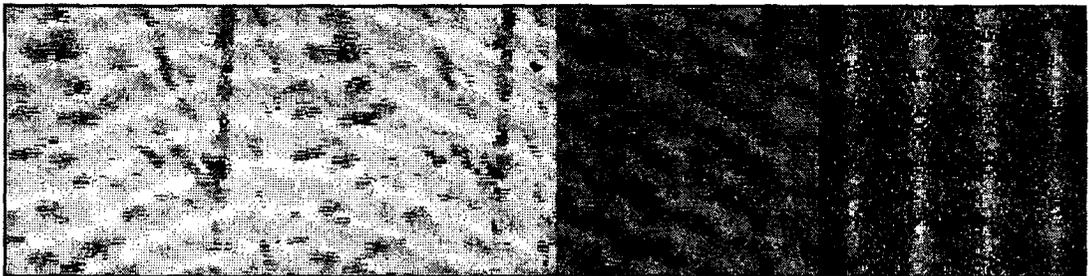


Figura 3: Simulación para comprobar el algoritmo de medida a) imagen original b) imagen desplazada, c) suma, d) transformada de Fourier

El éxito de este algoritmo depende esencialmente de que el cambio entre una imagen y otra se deba al desplazamiento de todos los trazadores en un determinado sentido, pequeñas variaciones son aceptables. En los sistemas en donde se aplica este método el movimiento de los trazadores se realiza en tres dimensiones y es distinto para cada lugar del plano de medida, lo que implica que los trazadores continuamente entran y salen del mismo, variando la dirección del movimiento continuamente, lo dicho anteriormente se puede observar en la figura 2. Por lo tanto se debe determinar un área en donde el método sea válido, la misma depende de cada aplicación y en algunos casos no se puede usar, en una misma imagen pueden existir áreas en donde el sistema no funciona.

En una medida real el algoritmo descrito no se puede usar directamente. Se divide el mismo en tres algoritmos a saber: preprocesado de la imagen; suma y transformada de Fourier; medición. A modo de ejemplo se procesó la imagen que se muestra en la figura 4, esta presenta un disco girando a una velocidad definida y tiene adherido un diodo led. Se tomaron las imágenes en secuencia.

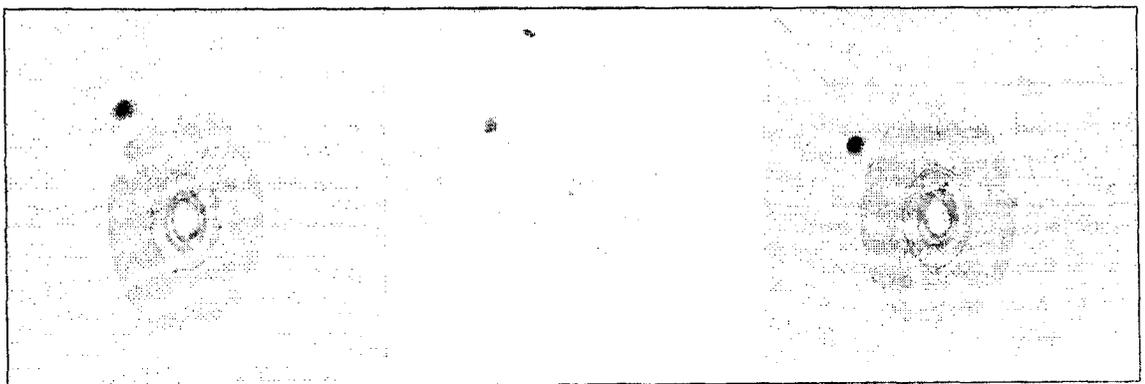


Figura 4: Secuencia de imágenes de un diodo led en rotación a) $t=0$ ms, b) $t=100$ ms, c) $t=200$ ms

PREPROCESADO DE LA IMAGEN

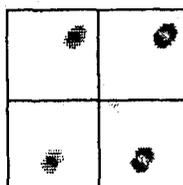


Figura 5: Detalle imagen 4a y 4b, mitad superior primera imagen y bordes de la misma, mitad inferior ídem

El objetivo de este algoritmo es filtrar de ruido la imagen y definir de la mejor manera la forma de las trazas. Con este fin se realizaron las siguientes operaciones sobre un área de 64x64 píxeles en donde se encuentra la mancha que se mueve en la imagen (figura 4). El histograma presenta dos máximos el primero corresponde al nivel de gris asociado al ruido de fondo; el segundo corresponde a la traza. Se toma como criterio de discretización, el nivel de gris medio entre ambos máximos; el resultado de esta operación es una máscara de ceros y unos, la cual al ser multiplicada por la imagen original elimina gran parte del ruido de fondo. Para definir la forma se aplica un filtro detector de bordes, del tipo gradiente. En la figura 5 se muestra el proceso realizado

RESTA Y TRANSFORMADA DE FOURIER

Para eliminar imágenes fijas producidas por bordes o fondos, en el proceso de realizar la interferencia digital de dos imágenes usando transformada de Fourier, se realiza la resta de ambas imágenes y posteriormente se toma el valor absoluto. De esta manera se obtiene la superposición de las manchas asociadas al desplazamiento y se elimina el fondo fijo. A esta imagen se le aplica la transformada de Fourier y se forma una imagen con el módulo de la transformada, a esta imagen se le filtra para suavizar máximos calculando el logaritmo natural y el resultado de la operación es un patrón de franjas como se muestra en la figura 6



Figura 6: Imagen a) resta entre las imágenes 5, b) transformada de Fourier de (a)

MEDICIÓN

Como se muestra en la figura 6 el desplazamiento se puede medir determinando la distancia entre franjas. El algoritmo que se utilizó consiste en: obtener la transformada de Fourier, eliminar las componentes de frecuencia más bajas y encontrar el máximo. Se calculó la transformada de la transformada de Fourier; entonces la distancia del máximo al centro de la imagen es directamente el desplazamiento de un grupo de partículas con respecto al otro grupo como se encuentra detallado en la figura 7



Figura 7: a) módulo de la transformada de (6 b) sin el centro, b) valores máximos de desplazamiento en (7 a)

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MEDIDA

Debido a que el sistema óptico usado para cada experiencia es distinto, en este trabajo se utiliza como unidad de medida el píxel. Las entradas y salidas de partículas en el plano de medición es la principal limitación del método y depende: del ancho del haz láser; del diámetro medio de los trazadores y la velocidad transversal de los mismos. El último parámetro es importante en flujos turbulentos y no puede ser medido de antemano, por lo tanto se tomó como criterio lo siguiente: proponer un área, realizar el histograma de dos imágenes en secuencia y si los histogramas son similares, aceptar esa área como la óptima. El tamaño del área por definición de la transformada rápida de Fourier debe ser una potencia de dos. Experimentalmente y para el sistema que se usó de ejemplo se determinó un área de 64x64 píxeles. La figura 8 muestra la secuencia de imágenes tomadas por la cámara a un sistema experimental que simula el desplazamiento de aire en una habitación, la misma es una caja de acrílico, el fluido es agua y los trazadores son bolitas de vidrio huecas.

Para probar el algoritmo de medida se eligieron distintas áreas con situaciones típicas, sobre la figura 8 se observan las distintas áreas analizadas. El área 1 presenta varias partículas que se desplazan en una dirección, el área 2 presenta el caso simple de una sola partícula en movimiento y finalmente el caso 3 presenta una partícula que se mueve sobre una pared. La figura 9 presenta una de las medidas realizadas y la tabla 1 los resultados de estas medidas

N° Área	Máximo		Desplazamiento		Comparación	
	x	y	x	y	x	y
1	42	25	-10	7	x	
2	32	25	0	7	0	6
3	32	26	0	6	0	7

Tabla 1

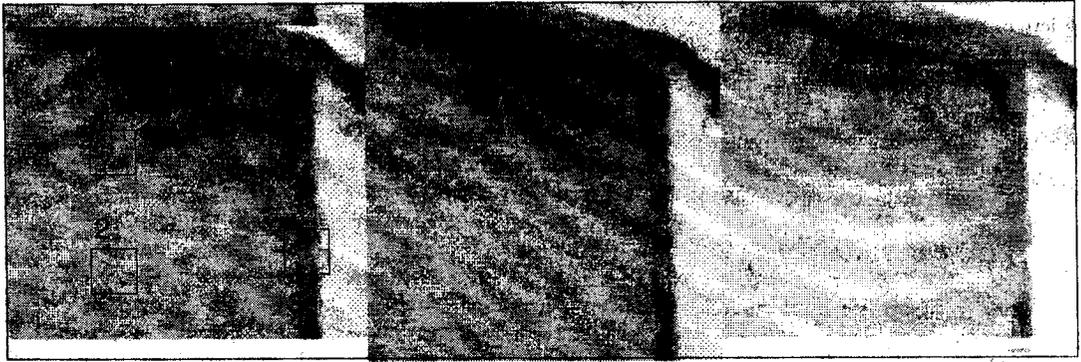


Figura 8: Ejemplo

El algoritmo utilizado para determinar la velocidad en el ítem comparación presentado en De Paul 1996 y Hoyos 1994, solo permite medir la distancia recorrida por un trazador, los resultados medidos en el área 2 están en el promedio de las distancias medidas sobre cada partícula y se puede observar en la figura 9.

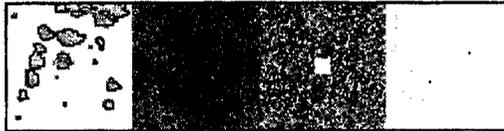


Figura 9: Imágenes de área 1

CONCLUSIONES

El método enunciado tiene un comportamiento óptimo para medir desplazamiento de fluidos siempre y cuando las imágenes tomadas no sean muy diferentes entre sí. Por lo tanto tiene problemas para medir fluido en estado turbulento en el que los trazadores se desplacen a una velocidad muy grande comparada con la velocidad de toma de imágenes de la cámara CCD. Tiene como ventaja fundamental que mide promedios espaciales de desplazamiento de partículas en zonas relativamente extensas. Una sencilla extensión del método permite medir módulo y dirección de la aceleración de los trazadores. La principal desventaja del método es que no mide el sentido del desplazamiento del fluido.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- De Paul I, Hoyos D, Saravia L Medida de velocidad del vapor de agua en el interior de un destilador solar tipo batea 19^a *Actas de Asades* (1996)
- Hoyos D, DePaul I. Programa de captura de imágenes procesamiento y calculo para medición de velocidades en líquidos 17^a *Actas de Asades* (1994)
- Alanis E, Romero G, Javi V, De Paul I, Técnicas ópticas aplicadas al estudio de la convección natural en modelos de viviendas 15^a *Actas de Asades* (1992)
- Bjornkquist, D Particle image velocimetry analysis system Inform TSI INC (1991)
- Parker J.R Algorithms for image processing and computer vision *Wiley Computer Publishing* (1997)
- Brigham E. Oran The fast fourier transform and its applications *Pretince Hall* (1988)

DATOS METEOROLÓGICOS POR INTERNET¹

Hoyos D., Cadena, C.²
 INENCO³-Departamento de Física
 UNIVERSIDAD Nacional de SALTA
 Av. Bolivia 5150 e-mail: hoyosd@unas.edu.ar

RESUMEN

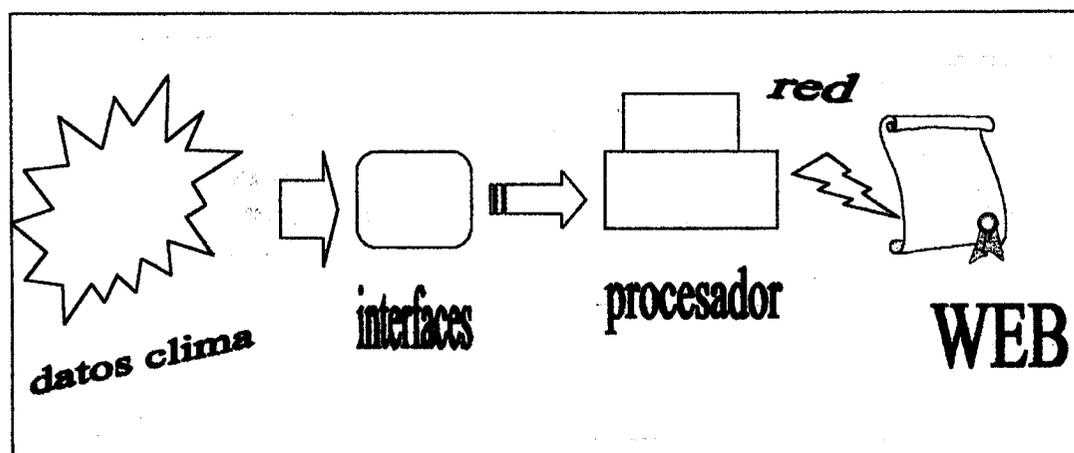
Desde hace algunos años se viene estudiando en el INENCO, el diseño y la utilización de equipos de medición computarizados. Particularmente el eje de la atención radica en las mediciones de tipo meteorológico. Por otra parte se detectó que en el ámbito local o regional, no existen en la actualidad datos o información computarizada al alcance del investigador o del común denominador de la gente.

A los efectos de poner a disposición de los usuarios esta información, se plantea en este trabajo un equipo con las características mencionadas, para realizar mediciones de parámetros meteorológicos y que permite volcar automáticamente los datos en Internet, particularmente en este caso en la página de la UNSa.

INTRODUCCIÓN

Un sistema de medición computarizado es un dispositivo de precisión, en el cual en alguna parte del proceso, la información se codifica (en este caso se convierte en información digital) para poder ser empleada por la computadora para su procesamiento y posterior transmisión y utilización. De más está decir que con el empleo de interfaces adecuadas se puede mejorar bastante la calidad de las medidas (este aspecto está relacionado directamente con el número de bits del convertidor analógico-digital).

El equipo que se describe fue diseñado en el INENCO, es portátil y de bajo consumo, y por otra parte su operación ha sido pensada de manera tal que no se requieran conocimientos especiales en el tema. Consta básicamente de una



ESQUEMA GENERAL

Figura 1

estación meteorológica sencilla, la interfase mencionada para la conexión con la computadora personal la conexión de red y una página de Web, tal como se muestra en la figura 1.

Los datos medidos por la estación meteorológica son guardados para su procesamiento y tratamiento y paralelamente son colocados en intervalos de tiempo predeterminados en Internet. Se miden: radiación global, temperatura ambiente, humedad relativa, y velocidad y dirección del viento. Las interfaces realizan las adecuaciones de los niveles de señal y la digitalización

¹ Parcialmente financiado por CIUNSA

² Profesional CONICET

³ Instituto UNSa-Conicet

de la información, mientras que el procesador y la red, las operaciones y el vínculo de ubicación de la información en la página de web.

SENSORES

La estación meteorológica situada en el *Campus Universitario*, recibe información proveniente de los sensores mencionados. El equipo de medición de temperatura, consta de un medidor con abrigo meteorológico, y el medidor propiamente dicho es un circuito integrado que entrega una tensión proporcional a la temperatura, de acuerdo con la expresión:

$$V_{sal} [mV] = 10 [mV/^{\circ}C] \cdot T [^{\circ}C] \quad T = \text{temperatura}$$

Este circuito integrado proporciona una excelente respuesta lineal en el rango de las temperaturas ambiente, ya que permite realizar mediciones de décima de grado una vez calibrado y su operación es muy sencilla ya que solo necesita de una fuente de alimentación estable (inclusive puede ser alimentado con baterías)

Para medición de radiación solar global se emplea un medidor de Kipp&Zonnen modelo CM10, que entrega una tensión de salida a radiación máxima de aproximadamente 5mV, dado que su constante de calibración es tal que:

$$V_{sal} [mV] = K \cdot G \quad : G \text{ es radiación sobre plano horizontal, } K = 4,72 mV/Kw/m^2 \text{ (constante de calibración)}$$

Sin bien estos equipos de medición son sumamente confiables, y una vez calibrados el error que cometen es relativamente pequeño, la técnica empleada, y que es inherente al proceso de medición es tal, que la señal que llega a la interfase tiene mucho ruido. Esto es así, debido a la longitud de los cables, y al bajo nivel de la señal, empeorado por muy contaminado por la estación radioemisora de la propia Universidad.

Se miden también humedad con una sonda Vaisala como así también velocidad y dirección del viento con un equipo AMR.

INTERFASE

La particularidad de este equipo es tal, que permite realizar todas las medidas sin necesidad de conectar un amplificador de tensión. Este simple hecho justifica por sí mismo el empleo de un circuito integrado muy especial: el MAX132. Este dispositivo es un *convertor analógico-digital* de dieciocho "bits" con interfase de salida del tipo serial y permite, al menos en teoría 256K niveles de cuantificación. En los hechos y a los efectos prácticos solo se emplean quince o dieciséis bits. Este "chip" es el componente principal, y se conecta con otro circuito integrado: el CD4067, que permite realizar un multiplexado en el tiempo y así medir sucesivamente hasta ocho canales que trabajen en

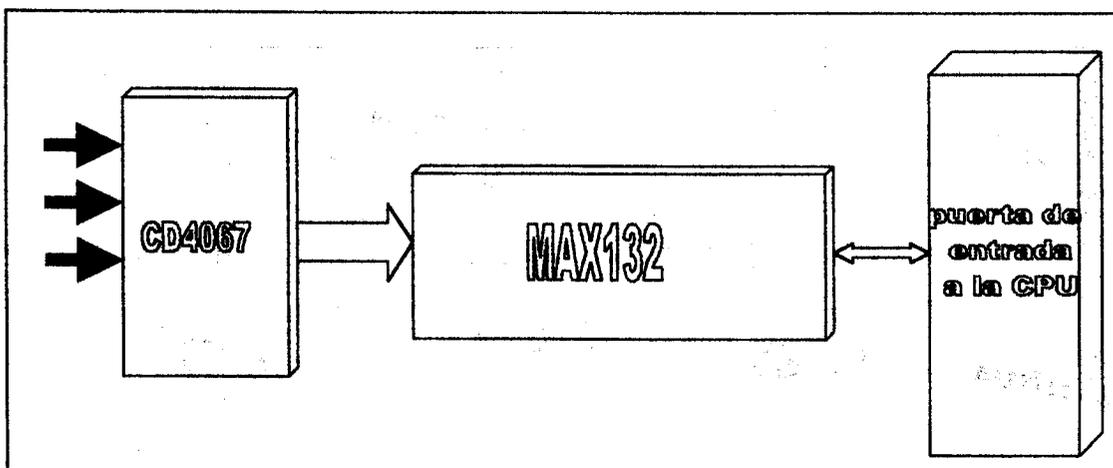


DIAGRAMA DE BLOQUES

Figura 2

modo diferencial o dieciséis en modo común.

LA PAGINA WEB

El sistema desarrollado está íntimamente vinculado con el esquema de funcionamiento de World Wide Web de Internet. El usuario externo debe entrar a la página de la Universidad en ella se encuentra un salto hacia la página que se encuentra en la máquina del laboratorio. Esta página es escrita cada 30 minutos por un programa residente en memoria y en él se encuentran los datos meteorológicos. Un esquema de este procedimiento se muestra en la figura 3.

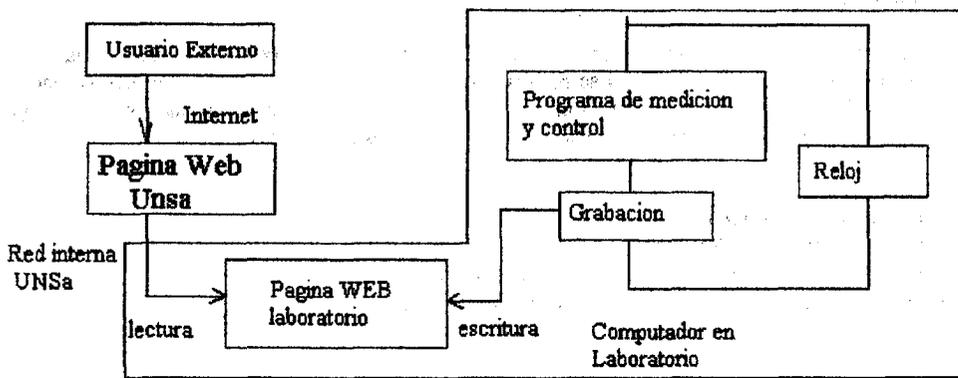


Figura 3

EL SOFTWARE DE CONEXION

El programa tiene varias funciones: Medir sobre los distintos canales, convertir las medidas en las unidades correspondientes, filtrar la información obtenida, acumular y colocar la misma en Internet. También debe realizar esta medida durante todo el día. Debido a la alta complejidad de las funciones a realizar se utilizó como lenguaje el Visual Basic 5. Estas características se muestran en la figura 4.

Se definió una clase denominada MAX132 que realiza todas las funciones de adquisición de datos. La placa se conecta a través del puerto de la impresora el programa debe enviar datos en forma serie, que utiliza el integrado para iniciar la medida, autocero, seleccionar el puerto externo e iniciar la medida. Al mismo tiempo el programa recibe las mediciones que continuamente está realizando el sistema de toma de datos. El programa además, genera dos señales que utiliza el integrado, a saber: CS selección de chip, CK el reloj, que coordina la transmisión de la información recibe EOC la señal de fin de conversión. El dato recibido es transformado en 3 números que finalmente son convertidos a una escala en milivoltios. El objeto denominado max132 tiene como entrada la dirección del puerto paralelo y el canal a medir. Utiliza como salida la función conversión que entrega el valor medido en milivoltios

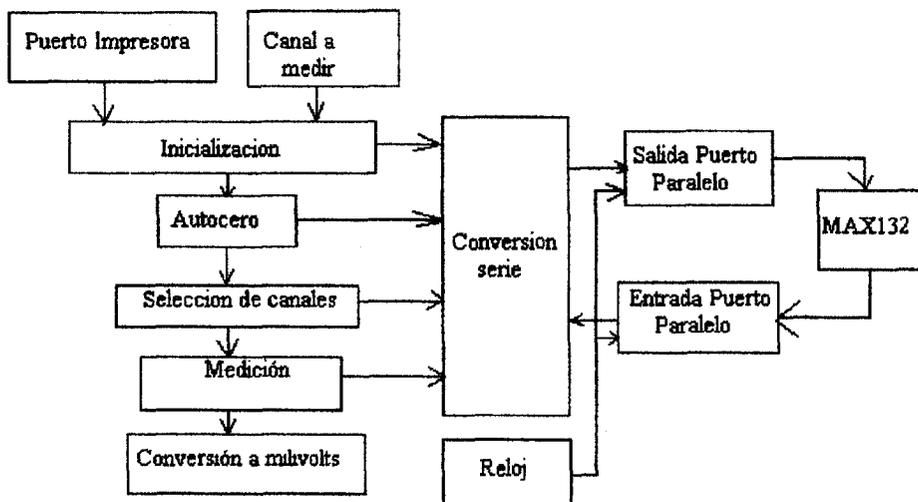


Figura 4

La clase conversión se encarga de convertir la medida de milivoltios a las distintas unidades de radiación, temperatura, humedad. Se definió una clase con el fin de poder utilizar distintos tipos de sensores y también que la programación sea simple.

El resto de las funciones del programa se encuentran integrada en un formulario del Visual Basic que aprovecha las funciones del control reloj. Este control se activa después de un periodo definido de tiempo y ejecuta una subrutina. El reloj esta programado para activarse cada 30 segundos, toma una serie de medidas la convierte en la unidad correspondiente y las acumula en un registro. Después de ejecutarse esta secuencia durante 30 minutos el reloj mide e inicia una subrutina que guarda la información en un archivo y graba un archivo HTML que contiene los datos meteorológicos actualizados, los archivos también son HTML.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El sistema desarrollado permite el monitoreo a cualquier distancia de información meteorológica tomada en la Universidad Nacional de Salta. La actualización de la información se realiza cada 30 minutos y los datos anteriores se encuentran a disposición también a través de la red. Hasta el momento el sistema funciona en forma experimental. No existe todavía un sistema de sensado y actualización en tiempo real. Todos los datos son integrados en el tiempo.

REFERENCIAS

- Ian S. Graham HTML sourcebook *John Wiley & Sons, Inc* (1995)
- Tim Parker Aprendiendo TCP/IP *Pretince Hall* (1996)
- Jose Dominguez Alconchel SuperUtilidades Visual Basic *Mc Graw Hill* (1997)
- Willis J. Tompkins Interfacing sensors to the IBM PC *Pretince Hall* (1988)

**ALGUNOS COMENTARIOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO
DE UN SENSOR FOTOVOLTAICO. NOTA TECNICA**

O. Dursi, H. Grossi Gallegos y G. Renzini

Red Solarimétrica, Servicio Meteorológico Nacional
Avda. Mitre 3100, (1663) San Miguel, Buenos Aires, ARGENTINA
Tel/Fax : (54-1) 455-6762 E-mail: postmaster@grossi.scyt.edu.ar**RESUMEN**

Se estudia en la presente nota el comportamiento de un sensor fotovoltaico de uso bastante difundido comparándolo con un piranómetro termoelectrico de precisión. Se analizan tanto las integrales diarias cuanto las horarias, observándose entre las últimas diferencias que exceden las consignadas por el fabricante cuando se trabaja en ángulos horarios bajos. Si bien no se analizó la degradación del difusor de acrílico utilizado para mejorar la respuesta a la ley del coseno, por referencias obtenidas se recomienda su calibración frecuente.

INTRODUCCION

Como consecuencia de los primeros trabajos llevados a cabo en el Yellot Solar Energy Laboratory de las EEUU de Norteamérica con el fin de determinar la factibilidad de utilizar celdas comerciales fotovoltaicas de silicio en sensores de radiación (Selçuk and Yellot, 1962) se hicieron muchas otras experiencias con el fin de estudiar los efectos de la variación espectral de la radiación solar sobre la respuesta de los mismos. En Argentina, luego de un estudio técnico-económico realizado para determinar el instrumental necesario para instalar la Red Solarimétrica, se decidió utilizar un radiómetro comercial cuyo elemento sensible era una celda de silicio monocristalino dotado de un circuito compensador a termistor para corregir el efecto de la variación de la salida con la temperatura (Lopardo y Fernández, 1979).

Estudios llevados a cabo por el mismo grupo de trabajo en los que se describió la calibración de los sensores utilizados (marca Rho Sigma modelo 1008) por comparación entre las integrales diarias obtenidos por ellos y las de un piranómetro termoelectrico de precisión (Lopardo *et al.*, 1978) y su comportamiento bajo diferentes condiciones (Lopardo *et al.*, 1979) llevaron a considerar que las integrales diarias obtenidas por los piranómetros de la Red Solarimétrica estaban afectadas errores del 6% (Grossi Gallegos *et al.*, 1983).

Animados por estos resultados y por su bajo precio en comparación con los termoelectricos, tuvo una gran difusión en los últimos veinte años la utilización de un piranómetro fotovoltaico modelo LI-200SA fabricado por la empresa norteamericana LI-COR Inc. La salida de estos sensores es del orden de los 90 microamperes por cada 1000 watts recibidos por metro cuadrado.

Esta difusión justifica la realización de un estudio detallado del comportamiento del piranómetro LICOR (como generalmente se lo conoce) para determinar los errores que se pueden cometer cuando se lo utiliza sin el periódico control y fuera de las condiciones para las que fue concebido, lo cual se encuadra dentro del estudio sistemático del comportamiento de sensores de radiación solar utilizados en el país iniciados hace siete años por este grupo de trabajo (Grossi Gallegos y Atienza, 1991).

DESCRIPCION DEL EQUIPO

El fotodiodo de silicio hizo posible la construcción de estos piranómetros simples de exactitud razonable; la respuesta espectral del sensor no es la ideal (esto es, la misma de 280 nm a 2800 nm), pero el fabricante de este modelo asegura que no causa errores mayores que el 5% si se usa sólo para radiación solar y no bajo condiciones que modifiquen la distribución espectral (por ejemplo, iluminación artificial, bajo una cubierta forestal o para medir radiación reflejada). Los datos tomados a bajas alturas solares pueden presentar errores significativos porque se altera la distribución espectral con los cambios en la transmitancia atmosférica; pero como esto es una pequeña contribución al total diario, los errores observados usualmente tienen poco efecto en las integrales diarias.

La calibración en fábrica está hecha en base a la comparación de datos instantáneos de un Eppley PSP y de un LICOR, promediados cada diez minutos, a lo largo de 3 o 4 días. La información procesada permite obtener la constante, según el folleto que acompaña al sensor, con una incerteza máxima del 5% y típica del 3%, asegurando una estabilidad mejor que el 2% a lo largo de un año. La respuesta a la ley del coseno se ha mejorado mediante el uso de un difusor de acrílico, pero no se da información acerca de la degradación del mismo por efectos de la exposición a la intemperie (fundamentalmente, radiación ultravioleta). De todas maneras, la empresa LI-COR recomienda que este modelo de piranómetro "debe ser retornado" a la fábrica cada dos años para su recalibración.

RESULTADOS Y ANALISIS

A pedido de la empresa que representa a LI-COR en Argentina se procedió a la calibración de un sensor que había sufrido daños en la resistencia de carga, fijándose el valor de la nueva en 125Ω . Siguiendo el procedimiento habitual para estos casos, se tomaron simultáneamente lecturas instantáneas de las señales provenientes de un piranómetro termoelectrónico de precisión EPPLEY modelo PSP (No. 18670 F3) y del sensor piranométrico LI-COR 200SA (No. PY14740) mediante un integrador CE 263.3K, las que fueron integradas en base horaria y grabadas en un cartucho removible de memoria sólida cuya información fue luego transmitida a un procesador IBM compatible a través de una interfase RS232; esta información se integró luego en base diaria para proceder a la determinación estadística de la constante media de calibración. La experiencia se realizó entre el 9 de abril y el 7 de mayo de 1998, siendo la energía media diaria registrada en ese período de 6.8 MJ/m^2 , con valores máximo de 12.4 MJ/m^2 y mínimo de 3.0 MJ/m^2 ; por otra parte, la altura solar alcanzó al mediodía un valor máximo de 48.3° y un mínimo de 38.8° .

Mediante la comparación de las integrales diarias se pudo determinar la constante de calibración media diaria, la que tomó un valor de $12.3 \times 10^{-6} \text{ V/W m}^2$ trabajando sobre la resistencia de carga ya mencionada (lo que sería equivalente a una intensidad de corriente de $98 \mu\text{A}$ por cada 1000 W m^2), obteniéndose un razonable ajuste de la recta de regresión de las integrales diarias ($r^2 = 0.992$), como se puede ver en la Figura 1.

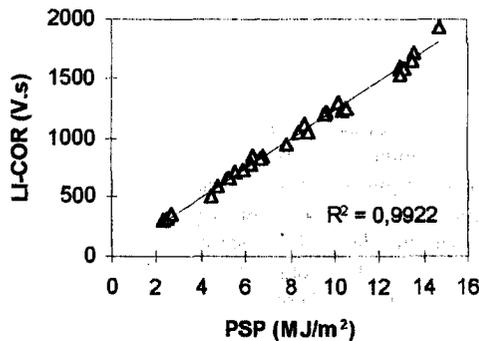


Figura 1. Determinación de la constante de calibración por ajuste por cuadrados mínimos de las integrales diarias obtenidas por un piranómetro Eppley PSP y un piranómetro LI-COR200SA.

Para analizar la magnitud de la variación horaria de la constante de calibración (esto es, la dependencia con la altura solar y, con ella, de la aeromasa y de la composición espectral de la radiación recibida) se consideraron las integrales horarias que fueron la base de la información agrupándose en horas fijas a lo largo del período de estudio. Un resumen gráfico de los resultados obtenidos se muestran en la Figura 2 de a página siguiente, siendo posible apreciar que la dispersión en la correlación es mayor para alturas solares menores; de todas maneras, el ajuste medio es bueno en general, con valores del coeficiente de correlación mayores a 0.99 salvo en el caso de alturas solares pequeñas.

Para analizar la posible dependencia horaria (altura solar) de las diferencias entre las integrales horarias medidas con uno y otro sensor se utilizó la constante media diaria antes determinada y se aplicó a todos los valores, comparando así los resultados obtenidos. Se seleccionaron los valores máximos, medios y mínimos medidos en horas fijas a partir del mediodía local para tener en cuenta la influencia de la aeromasa y de las características del cielo, los que se resumen en la Tabla 1. Se eliminaron los valores de alturas solares inferiores a 10° para los cuales el comportamiento del sensor no está garantizado por el fabricante.

HORA LOCAL	VALORES MAXIMOS		VALORES MEDIOS		VALORES MINIMOS	
	PSP	LICOR	PSP	LICOR	PSP	LICOR
12-13	2.38	2.28	2.12	2.10	0.36	0.37
13-14	2.31	1.28	1.74	1.76	0.42	0.45
14-15	1.86	1.94	1.13	1.13	0.31	0.32
15-16	1.59	1.62	1.23	1.31	0.28	0.32
16-17	0.95	1.05	0.65	0.75	0.13	0.15

Tabla 1. Valores horarios de radiación global (MJ/m^2 hora) obtenidos con un piranómetro de precisión Eppley PSP y con uno fotovoltaico LI-COR200SA para diferentes alturas solares y características del cielo.

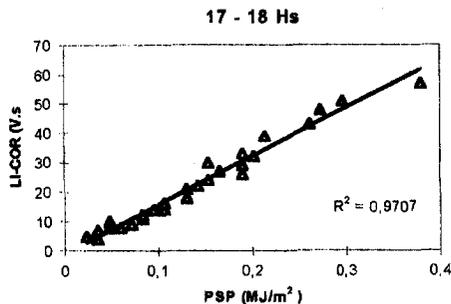
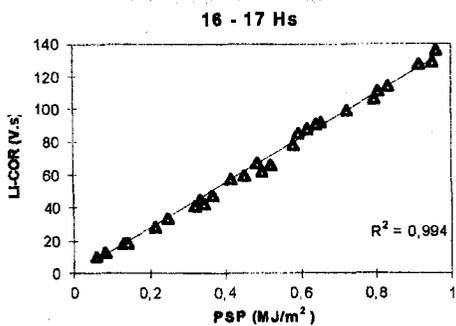
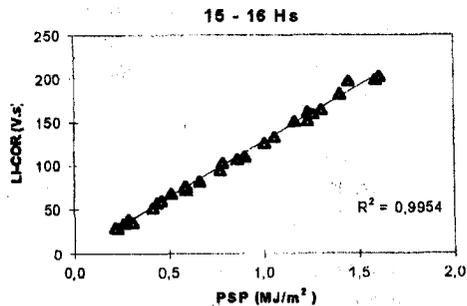
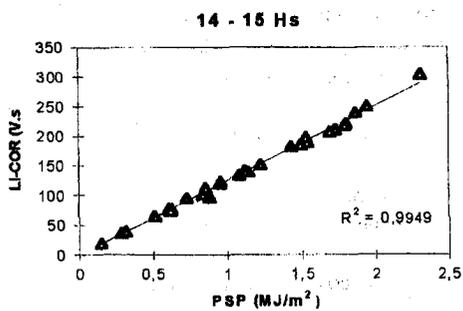
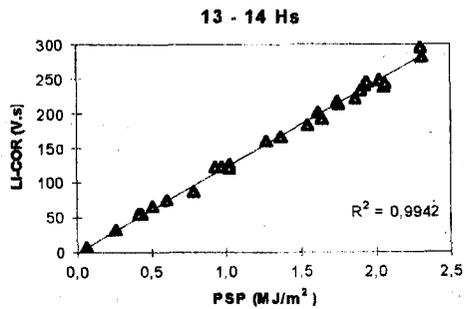
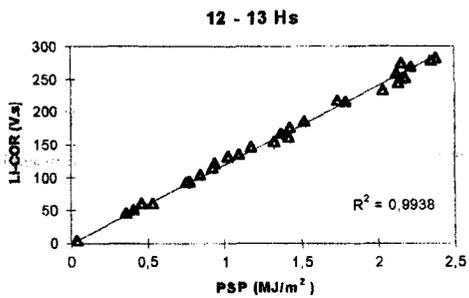
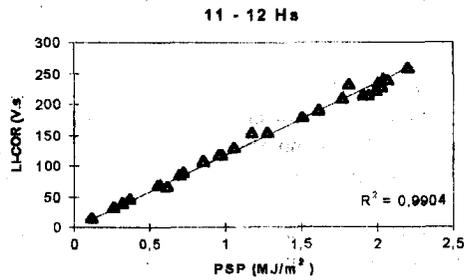
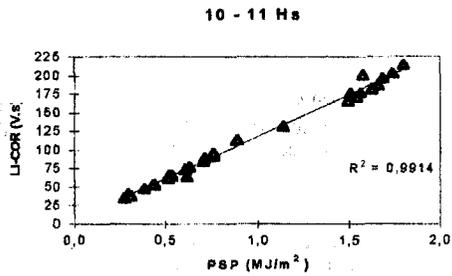
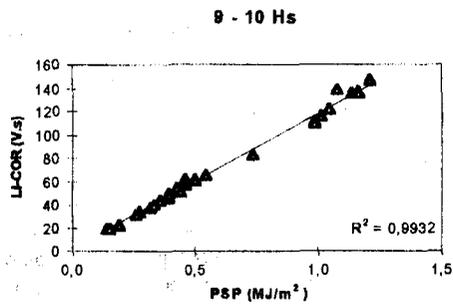
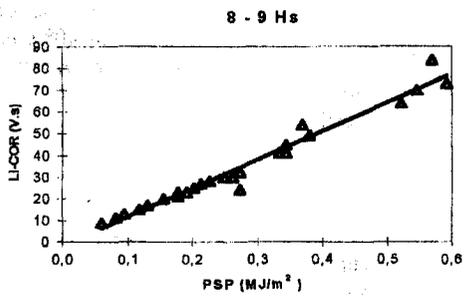


Figura 2. Determinación de la constante de calibración por ajuste por cuadrados mínimos de las integrales horarias obtenidas por un piranómetro Eppley PSP y un piranómetro LI-COR200SA (se indica la hora local).

Pudo observarse que, para alturas solares comprendidas entre 10° y 48° la diferencia relativa entre las integrales horarias tomadas con ambos sensores aumenta, excediendo las tolerancias de fábrica: para alturas solares del orden de los 40° y baja transmitancia atmosférica se observaron errores en exceso de hasta el 7%, mientras que para alturas solares de 30° y transmitancias intermedias la diferencia es del 6% (para transmitancias bajas la diferencia observada llegó al 14.3%). Finalmente, para alturas solares de 20° ya el error alcanzó el 15% para los tres tipos de cielo.

CONCLUSIONES

Si bien limitados en el tiempo (no considerando por ello alturas solares mayores que podrían provocar mayores diferencias extremas), estos estudios permiten asegurar que la medición de valores horarios de radiación solar global mediante el uso del piranómetro LI-COR200SA puede provocar errores que excedan los supuestos dando por válida la calibración de fábrica. Si es utilizado para la medición de valores diarios, para los cuales se estableció una constante media mediante la comparación de integrales diarias del mismo con las de un sensor termoelectrónico de precisión, puede considerarse que el error cometido es del 5%.

Por otra parte, a pesar de no haberse estudiado la variación de la constante de calibración en el tiempo, el uso de un difusor acrílico permite suponer que el mismo tiene que degradarse y obligar a una calibración periódica durante la etapa lineal a intervalos a determinar (lo cual no es comunicado por fábrica, si bien dice claramente que debe ser llevado a fábrica cada dos años); esto ha llevado a algunos usuarios a descartar su uso (Castro, 1997).

Por todo ello, se recomienda que los usuarios de estos sensores los utilicen dentro de las limitaciones impuestas por los fabricantes y que traten de comparar o hacer comparar la constante de los mismos por lo menos una vez por año contra un piranómetro termoelectrónico de clase I.

AGRADECIMIENTOS

Al Lic. José A. Demicheli por la colaboración prestada en la adaptación y conexión de los equipos.

A la Universidad del Salvador por el apoyo brindado a este grupo de trabajo dentro del Acuerdo de Mutua Colaboración firmado con el Servicio Meteorológico Nacional.

REFERENCIAS

- Castro, V. (1997) Universidad Nacional de Costa Rica (comunicación personal).
- Grossi Gallegos, H., Nollmann, I., Lopardo, R. y Atienza, G. (1983) Evaluación preliminar del recurso solar en Argentina. *Actas de la 8va. Reunión de Trabajo de la ASADES*, pp. 179-194, Santa Rosa de La Pampa, Argentina.
- Grossi Gallegos, H. y Atienza, G. (1991) Estudio comparativo del comportamiento de piranómetros de uso poco difundido en Argentina. Informe de avance. *Actas de la V Reunión Nacional de Agrometeorología*, Vaquerías, Córdoba, pp. 215-219 (1991).
- Lopardo, R., García, M. y Atienza, G. (1978) Aspectos técnicos de la Red Solarimétrica. *Actas de la 4ta. Reunión de Trabajo de la ASADES*, pp. 365-374, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Lopardo, R. y Fernández, R. (1979) Estudio técnico económico del instrumental necesario para la Red Solarimétrica en Argentina. *Atas do 2º Congresso Latino-Americano de Energia Solar*, volume I, pp. 113-120, João Pessoa, Paraíba, Brasil.
- Lopardo, R., García, M. y Atienza, G. (1979) Comportamiento de un detector fotovoltaico en distintas condiciones. *Actas de la 5ta. Reunión de Trabajo de la ASADES*, tomo 1, pp. 5-11, Córdoba, Argentina.
- Selçuk, K. And Yellot, J. (1962) Measurements of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation with Silicon Photovoltaic Cells. *Solar Energy* 6, 4, 155-163.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN PARA
 DETERMINAR LA TRANSMITANCIA TÉRMICA
 DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS**

Natalini, Mario B. -Aeberhard, Arturo F.- Raush, José A.- Aeberhard, María R.
 Dpto. De Estabilidad - Facultad de Ingeniería - UNNE - Av. Las Heras 727 - Resistencia - Chaco
 Tel. (0722)20076 - E-Mail: raquel@ing.unne.edu.ar

RESUMEN

En el presente informe se describe el diseño y construcción de un equipo denominado "Caja Caliente", desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, con el propósito de investigar y/o prestar servicios en la determinación de la transmitancia térmica de materiales utilizados en la construcción de edificios.

INTRODUCCIÓN

En climas templados o tropicales, como es el caso de la región nordeste de nuestro país, las construcciones actuales requieren niveles de aislación térmica comparables a los que rigen en zonas de climas relativamente fríos. Ello se debe a que, en el balance energético global, el gasto de energía para la climatización de edificios en zonas cálidas tiene una importancia similar al de las zonas de clima frío.

La reducción del consumo de energías convencionales en los edificios no implica necesariamente la utilización de materiales innovadores. La solución puede ser una cuestión de diseño coherente con la climatología local tendiente a conseguir el confort de las personas que habitan los edificios.

La aislación térmica de los edificios constituye entonces una solución conveniente tanto para el ahorro de energía como para el confort habitacional y la reducción de agentes contaminantes.

De lo expuesto se concluye que es necesario conocer las cualidades aislantes de los materiales que se utilizan en los cerramientos a efecto de que los mismos puedan aprovecharse para el control climático de los ambientes.

MATERIALES Y MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DE LA "CAJA CALIENTE"

El diseño y construcción de la "Caja Caliente" se basa en la norma IRAM 11.564 [1].

El aparato está constituido básicamente por una caja de medición, una caja de guarda y una caja fría, ubicadas según indica la figura 1:

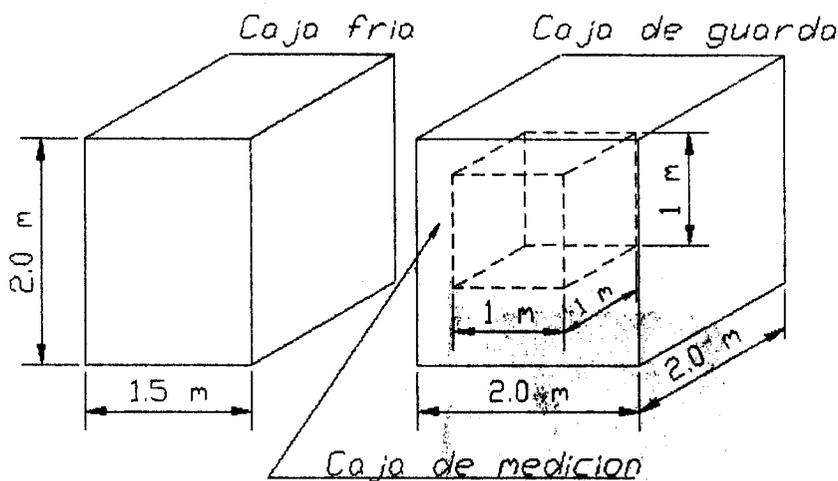


Fig. 1: Ubicación de la caja de medición, caja de guarda y caja fría.

Caja de Medición:

Las dimensiones de la caja de medición están determinadas por el área a medir, siendo ésta de 1 m^2 . El volumen total de la caja de medición es de 1 m^3 . Las paredes de la caja de medición son de tipo "sandwich", compuestas de poliestireno expandido y madera aglomerada de 3 cm y 2 cm de espesor respectivamente. En el borde de contacto de la caja de medición con el panel a ensayar se colocaron burletes de goma con el fin de lograr una unión hermética.

El equipo de calentamiento consiste en una resistencia eléctrica y un ventilador, para asegurar un movimiento de aire suave y constante sobre el área de medición.

La temperatura del aire encerrado en la caja de medición se mide por medio de una termorresistencia del tipo PT 100.

Caja de Guarda:

Para determinar el tamaño de la caja de guarda se tuvo en cuenta que la distancia entre la superficie interior de la misma y la superficie exterior de la caja de medición deben ser igual o mayor al doble del espesor del elemento más voluminoso a ensayar. La superficie de contacto entre la caja de guarda y el elemento a ensayar es de 4 m^2 .

Las paredes de la caja de guarda son de tipo "sandwich" con una conductancia térmica de $0,49 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$, calculada según la norma IRAM 11.601 [2]. Los materiales que la componen son los siguientes: chapa galvanizada (ondulada), poliestireno expandido (9 cm de espesor) y chapadur (3 mm de espesor).

Como unidad calefactora se dispone de cuatro resistencias eléctricas y un ventilador de $\frac{1}{2}$ HP, para provocar la circulación del aire alrededor de la caja de medición y del elemento a ensayar evitando asimismo la estratificación del aire.

La temperatura del aire en la caja de guarda se mide por medio de una termorresistencia de tipo PT 100.

Caja Fría:

El tamaño de la caja fría se determina de acuerdo al elemento de ensayo y a la disposición de las distintas cajas. La superficie frontal de la caja fría y de la caja de guarda son iguales (4 m^2). Las paredes de la caja fría son, al igual que la caja de guarda, de tipo "sandwich" compuestas por chapas galvanizadas (ondulada), poliestireno expandido (9 cm de espesor) y chapadur (3 mm de espesor).

La temperatura del aire dentro de la caja fría se determina, al igual que la caja de medición y la caja de guarda, mediante una termorresistencia de tipo PT 100. Esta se ubica en posición opuesta a la de la caja de medición. La unidad de refrigeración es un equipo de $\frac{3}{4}$ HP de potencia.

Cabe señalar que las temperaturas de las tres cajas registradas por los PT 100 son reguladas por controladores del tipo PID.

Panel Testigo:

Para la calibración del equipo de medición de transmitancia térmica se construyó un panel testigo cuya configuración fue obtenida del Departamento de Construcciones del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Se trata de un panel de tipo "sandwich" compuesto de dos placas de aglomerado y alma de poliestireno expandido cuyas dimensiones se observan en la figura 2:

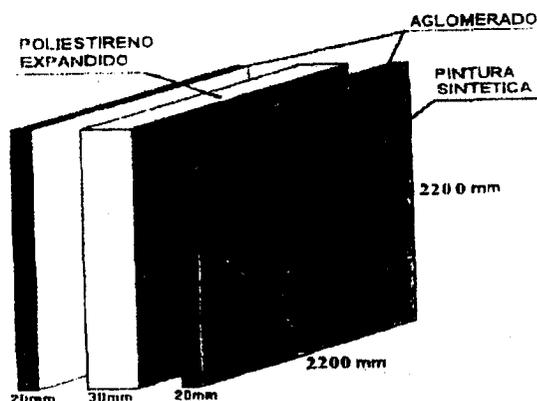


Fig. 2: Panel testigo de tipo "sandwich"

El poliestireno expandido posee una densidad de 20 Kg/m^3 . El conjunto tiene una conductividad térmica y una conductancia de: $\lambda = 0,0652 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ y $C = \lambda / e = 0,9546 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$, respectivamente.

La transmitancia térmica K del panel testigo fue calculada teóricamente considerando las resistencias superficiales según valores normalizados, su valor es de: $K = 0,825 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ [2].

CONCLUSIÓN

Con el aparato denominado "Caja caliente", es posible estudiar el comportamiento térmico de los materiales de construcción en condiciones reales de intemperie. De esta manera el arquitecto y el constructor de edificios podrán conocer las propiedades térmicas de un cerramiento antes de incluirlo en su diseño.

La "Caja Caliente" permite llevar a cabo las siguientes mediciones:

Transmitancia térmica de cerramientos verticales:

- *Prefabricadas.
- *Con aislamiento.
- *Con componentes especiales.
- *Cualquier tipo de ventana.

La figura 3 muestra la "Caja Caliente" de perfil. Se observa la caja de medición y parte de la caja de guarda, panel testigo y equipo de control de temperaturas.

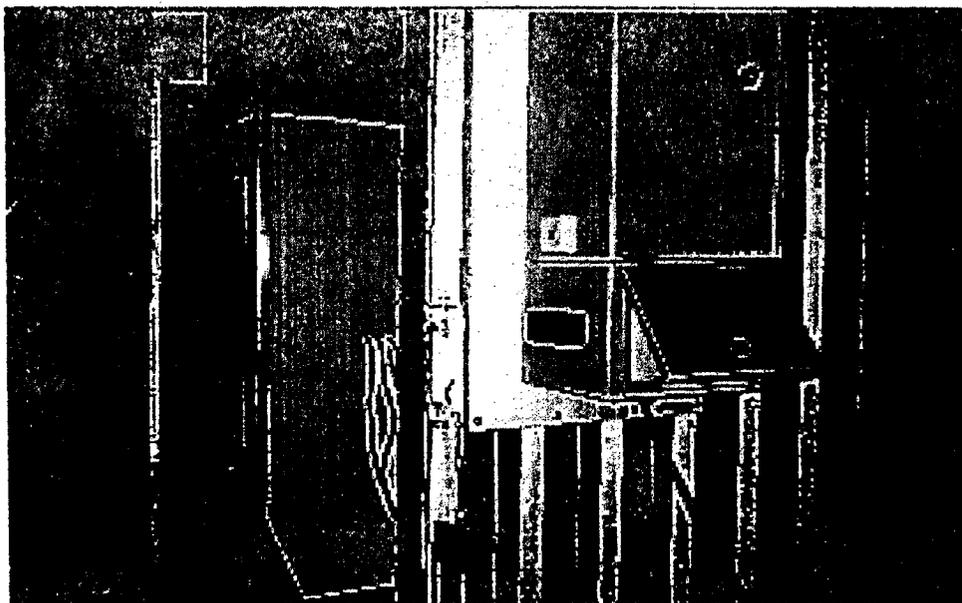


Fig. 3: Vista de un perfil de la "Caja Caliente"

Referencias

- [1] - Norma IRAM 11.564 - *Método de Determinación de Transmitancia Térmica de los Elementos de Construcción Mediante el Aparato de la Caja Caliente*, Noviembre de 1978.
- [2] - Norma IRAM 11.601 - *Método de Cálculo de la Resistencia Térmica Total* - Diciembre de 1988.

SISTEMA DE CALIBRACIÓN PARA MEDIDAS DE VELOCIDAD EN FLUIDOS USANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Horacio Serrudo, Daniel Hoyos, Irene De Paul

INENCO*

Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta

TE: 87-255424

E-mail: depaul@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

En trabajos anteriores De Paul 1996, De Paul 1995 se presentó un método por el cual se realiza la medida de velocidad del vapor de agua en el interior de un destilador solar ensayado en laboratorio, por captura y procesamiento digital de imágenes. El nivel de procesamiento digital depende de la calidad de la imagen capturada, por lo cual es necesario establecer criterios cuantificables que permitan calcular el error de cada medida en función del nivel de procesamiento. En el presente trabajo se muestra los resultados obtenidos, comparando la velocidad calculada a partir del método anterior con los obtenidos de un patrón de velocidad de referencia. Se describe el equipo empleado y los resultados obtenidos.

INTRODUCCION

En trabajos anteriores se presentó un método por el cual se realiza la medida de velocidad del vapor de agua en el interior de un destilador solar ensayado en laboratorio. El método consiste en generar con un láser un plano luminoso, que al incidir sobre las gotitas de vapor de agua en interior del destilador, permite visualizar su movimiento. Con una cámara de vídeo controlada por una computadora se realiza una secuencia consecutiva de toma de imágenes, a intervalos que se pueden fijar por el operador, de duración muy breve. Las imágenes así capturadas se muestran como una secuencia de trazas de colores de distinta longitud, dependiendo de la velocidad de la gota. Una gota es tomada por la cámara en distintas posiciones lo que uniendo todas las imágenes la longitud de la traza así formada dividida por el tiempo transcurrido es proporcional a la velocidad de la gota de agua. Con un programa desarrollado al efecto se mide la longitud de la traza y se calcula la componente de la velocidad en el plano iluminado. Los resultados del cálculo : coordenadas de cada gota, longitud de la traza en pixeles, inclinación de la traza y sentido del movimiento se guardan en un archivo ASCII.

El procesamiento de las imágenes así obtenidas es posterior a la medida, y depende de la calidad de la imagen capturada : nivel de contraste, densidad de gotas, velocidad, reflejos en bordes o fondo de reflectancia diferente a las gotas, etc. La secuencia normal de procesamiento consiste en ejecutar una serie de filtros : blur, resaltador, discretizador,. Para poder calibrar el método es necesario comparar las velocidades medidas con un patrón de velocidad, para lo cual se programaron una serie de experiencias, cuyos resultados se presentan en este trabajo.

DESCRIPCION DEL EQUIPO DE MEDIDA

Un sistema de calibración debe contar con un elemento que actúe como si fuera un trazador que se desplaza a una velocidad conocida, variable. Con este fin se diseñó un dispositivo que consta de un disco , que gira impulsado por un motor, al cual se le adhirió un led luminoso. La velocidad tangencial del led es el patrón de referencia contra el cual se compara la velocidad medida con el sistema de captura y procesamiento de imágenes. En la figura 1 se presenta un esquema general del sistema.

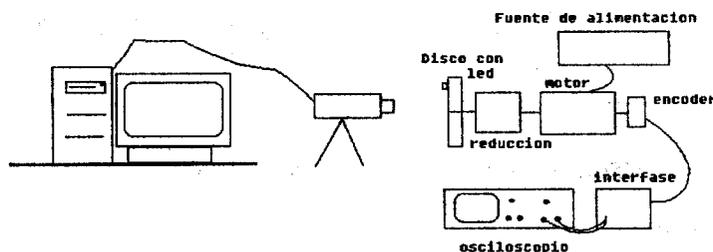


Figura 1 Esquema General

* Instituto UNSa - CONICET

El sistema de medición de velocidad de desplazamiento de trazadores consiste en una computadora con un framegrabber , una cámara y un programa que toma en secuencia una serie de tres imágenes y las procesa formando una sola. Para poder analizar el funcionamiento del método de calibración se lo dividió en tres bloques distintos: el sistema mecánico, control de velocidad del motor y medición de la velocidad del motor.

SISTEMA MECÁNICO

Consta de un disco de plástico negro , que gira a velocidad angular w , el cual tiene sujeto un led alimentado por una tensión continua, introducida al disco por un sistema de escobillas el cual genera un roce despreciable. Debido a que el instrumento mide velocidades pequeñas, del orden de centímetros por segundo, el disco debe girar muy lentamente. Los motores de corriente continua presentan irregularidad en su velocidad cuando el régimen de trabajo es de baja velocidad angular por lo tanto se trabajó a velocidades medias y se utilizó un sistema reductor que disminuye doce veces la velocidad angular. La distancia del led al eje es de $r = 3$ cm y su velocidad tangencial es $v = r w$.

CONTROL DE VELOCIDAD DEL MOTOR

El motor utilizado es de continua de 12V y 10 W de potencia, dispone de un encoder integrado sobre su eje. Se eligió un motor grande, de mucha inercia, para evitar las variaciones de velocidad que se presentan trabajando a bajas revoluciones.

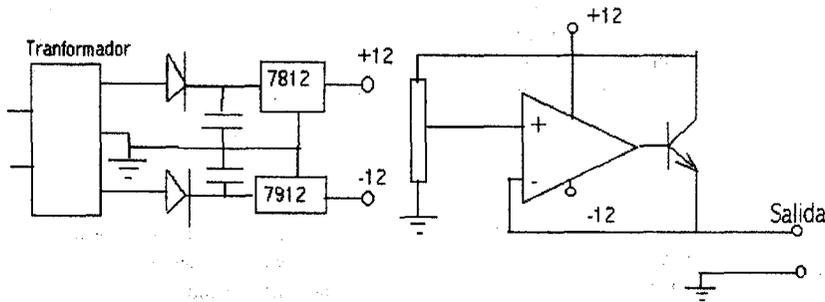


Figura 2: Fuente de tensión variable

Este motor, funcionando a bajas revoluciones, con una par resistente pequeño, tiene poco consumo de potencia lo que simplificó el diseño de la interfase. El control de velocidad de los motores de corriente continua se realiza variando la tensión, para lo cual se diseñó una fuente regulada variable que responde al esquema de la figura 2.

MEDICIÓN DE VELOCIDAD DEL MOTOR

El encoder, que mide el número de revoluciones del disco, está solidario al eje del motor y consiste en una lengüeta que interrumpe un haz de luz enviado por un fotodiodo a un fototransistor. Esta señal es amplificada y enviada a un osciloscopio como se encuentra detallado en la figura 3

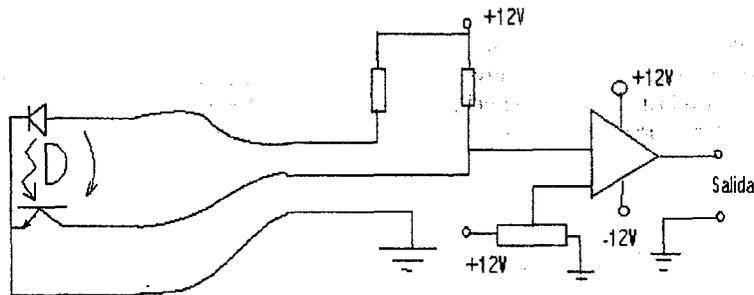


Figura 3 Amplificación y detección de la señal del fotodiodo para medir la frecuencia

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

El sistema de calibración tiene varios parámetros que deben ajustarse en forma experimental. Algunos de ellos son: la magnificación con que se toma la imagen, el tiempo entre toma de imágenes y el tiempo de exposición de la cámara. Cada uno de estos parámetros debe ser fijado para cada experiencia particular. El proceso de calibración consta de los siguientes

pasos. Se ubica el disco calibrador en la posición del sistema a calibrar. Se ajusta la óptica del sistema y con el osciloscopio y la fuente se ajusta la velocidad del led. En el osciloscopio se observa la frecuencia con que está girando el motor, este valor dividido por la reducción y multiplicado por el radio de giro del led nos permite calcular la velocidad tangencial del led, manteniendo constante la frecuencia angular y por lo tanto, la velocidad tangencial; se mide su velocidad empleando el método de captura y procesamiento digital de imágenes descrito en la introducción. Se compara este resultado con el valor correspondiente a la velocidad tangencial del led. Para obtener un resultado confiable se mide varias veces, y se realiza una estadística sobre las medidas. Se cambia la frecuencia angular a un nuevo valor y se repite la experiencia.



Figura 4: Imagen del sistema de calibración

RESULTADOS OBTENIDOS

La Tabla I y la figura 5 muestran la calibración del sistema en el cual la cámara se encuentra ubicada a un metro de distancia, perpendicular al disco. La misma tiene un sistema óptico con distancia focal de 50 mm, el retardo entre imágenes es cero por lo tanto la demora existente depende del tiempo de captura de la imagen: 512 ms y 813 ms. Se tomaron en total treinta y tres imágenes.

Vcalcu (cm/s)	Error Vcalcu	Vcalib (cm/seg)	Error Vcalib
1.8	0.2	3.2	0.4
2.2	0.4	4.0	0.5
2.0	0.3	4.0	0.5
2.2	0.4	5.8	0.7
2.3	0.5	4.3	0.6
2.6	0.4	6.0	0.7
2.7	0.5	6.4	0.8
2.8	0.5	6.4	0.8
3.1	0.7	4.7	0.7
3.1	0.4	13.8	1.7
3.1	0.5	10.1	1.5
3.2	0.4	10.1	1.5
3.6	0.6	10.1	1.5
3.8	0.7	14.2	1.8
4.0	0.4	14.7	1.9
4.2	0.9	15.1	2.0
4.4	0.9	15.6	2.1
4.6	0.6	16.1	2.2
4.8	1.0	16.1	2.2
4.9	1.1	16.7	2.3
5.1	0.4	17.3	2.4
5.2	0.4	18.6	2.7
1.5	0.2	3.0	0.4
1.7	0.2	2.8	0.3
1.9	0.3	3.6	0.5
1.8	0.2	4.0	0.5
1.9	0.3	4.3	0.6
2.3	0.4	5.5	0.9
2.4	0.4	6.0	0.7
2.5	0.5	6.7	0.8
2.7	0.6	7.1	0.9
2.7	0.5	7.6	1.0

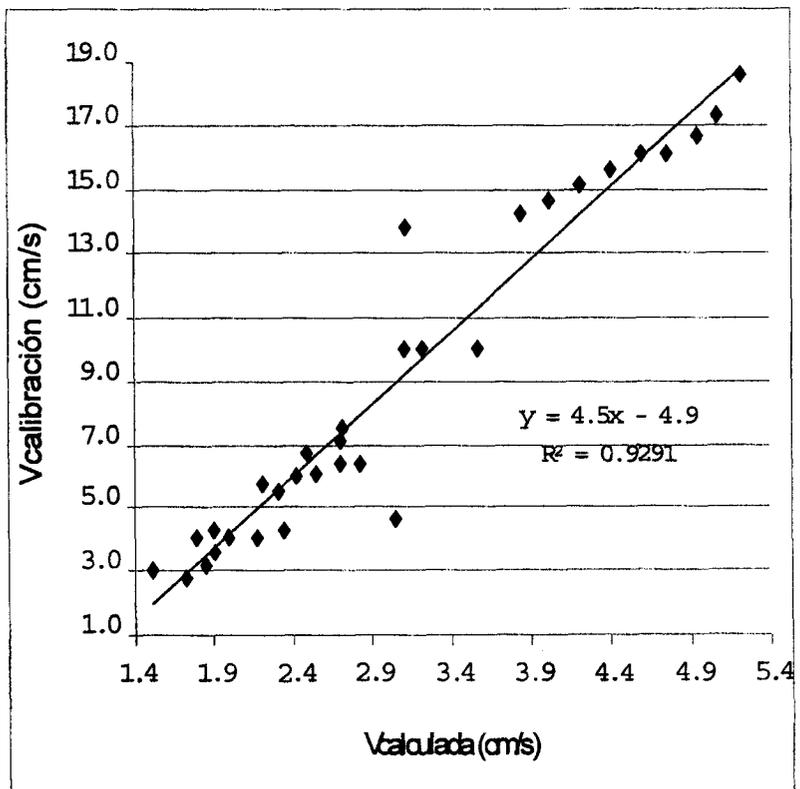


Tabla 1: Comparación de valores medidos con ambos métodos

Gráfico 5: Visualización de la curva de ajuste

Aplicando cuadrados mínimos se obtiene la ecuación de calibración del sistema de medida; las constantes A y B definen la aproximación lineal entre la velocidad del programa [cm/s] y la velocidad medida por el calibrador en [cm/s] según la ecuación:

$$V = V_{\text{Progs}} * A + B \quad \text{donde } A = 4.5 \pm 0.2 \text{ y } B = -4.9 \pm 0.7 \text{ (cm/s)}$$

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- El método propuesto es adecuado para realizar la calibración del método de medida de velocidad por captura y procesamiento digital de imágenes.
- Los resultados obtenidos presentan un error del orden del 20 %, que es aceptable en medidas de velocidad en fluidos en convección natural.

BIBLIOGRAFIA

- De Paul, I., Saravia, L. "Movimiento convectivo del aire húmedo en un destilador solar pasivo". *Actas de 18a. Reunión de ASADES. San Luis.* (1995).
- De Paul, I., Saravia, L.. "Visualización de flujos aplicada al estudio del movimiento convectivo del aire húmedo en un destilador solar pasivo". *Actas del 4o. Simposio Internacional Física de Fluidos '95.* La Plata (1995).
- De Paul, I., Hoyos, D., Saravia, L. "Medidas de velocidad del vapor de agua en el interior de un destilador solar tipo batea". *Actas de 19a. Reunión de ASADES.* Mar del Plata. (1996).
- Tompkins W.J. *Interfacing sensors to the IBM PC Prentice Hall* (1988).
- Coughlin R.F Driscoll F.F *Amplificadores Operacionales y Circuitos Lineales Prentice Hall* (1993)

ILUMINACIÓN EN MAQUETAS Y ESPACIOS CON ILUMINACIÓN NATURAL RECOMENDACIONES PARA SU MEDICIÓN

J.M. Evans, M. Bogatto, M.I. Marmora, G.A. San Juan
 CIHE, Centro de Investigación Hábitat y Energía, SICyT-FADU-UBA.
 C.C. 1765, Correo Central (1000), Cap. Fed. o Pabellón 3, 4to Piso, Ciudad Universitaria (1428), Cap. Fed.
 Fax +54 (01) 782 8871. E-Mail: evans@fadu.uba.ar
 IDEHAB, Instituto de Estudios del Hábitat, FAU, UNLP N° 162, CC 478, La Plata, Tel/Fax: +54 (021) 214705

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de los primeros ensayos, mediciones y evaluaciones de la calidad y cantidad de iluminación natural en maquetas de edificios. El cielo artificial, recientemente construido en el Laboratorio de Estudios Bioambientales del CIHE, permite realizar estos estudios con una distribución de iluminación que simula un cielo nublado. Se verificó primero la validez del modelo teórico de la distribución luminica del cielo a emplear, y posteriormente se analizó la distribución de iluminación obtenida en el cielo artificial. Se presenta además el resultado del análisis de las técnicas experimentales y de otros aspectos a considerar cuando se realizan mediciones en un cielo artificial.

INTRODUCCIÓN

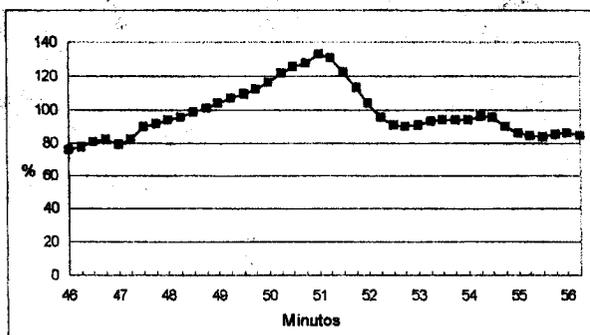
El cielo artificial permite realizar mediciones de intensidad y distribución de iluminación natural, en espacios interiores de maquetas de edificios existentes y de proyectos en desarrollo. El cielo artificial construido en el Centro de Investigación Hábitat y Energía de la FADU-UBA (Evans 1997a, Evans 1997b) simula las condiciones de iluminación más desfavorables, las de un cielo cubierto. El modelo teórico utilizado para su construcción es el propuesto por el CIE (Comité Internacional de l'Éclairage), conocido como "Standard Overcast Sky" o Cielo Nublado Normalizado (CIE, 1970). En este trabajo se presentan los resultados de las primeras mediciones y las experiencias recogidas durante el proceso de calibración. Las mediciones iniciales de calibración tenían como objetivo verificar:

1. la distribución luminica del cielo artificial y su relación con el modelo teórico según el cual ha sido construido;
2. la validez del modelo teórico desarrollado en otras latitudes para cielo nublado de latitud 34°, Buenos Aires;
3. la respuesta de los diferentes instrumentos a la luz procedente de diferentes ángulos de altura (respuesta al coseno);
4. las variaciones de valores obtenidos con distintos instrumentos de medición;
5. la variación de valores de iluminancia debido al calentamiento de tubos fluorescentes, a variaciones de tensión, etc.

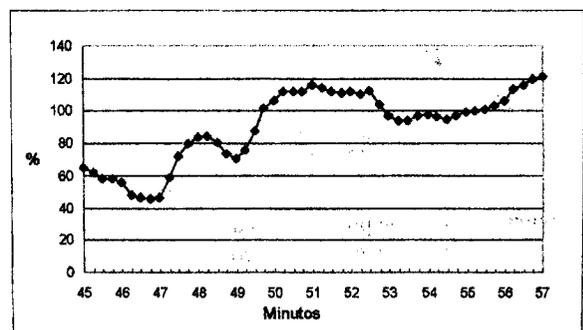
A continuación se presentan los resultados de las mediciones realizadas, con las recomendaciones y conclusiones que surgen del primer año de uso del cielo.

EL CIELO REAL

Un cielo nublado real se caracteriza por una gran variabilidad en el tiempo de los valores de iluminancia medidos en él. Esta variación, escasamente perceptible, puede desviarse del valor medio medido en un 30%, en un período de 15 minutos. Es muy importante tomar en cuenta este factor para la realización de mediciones tanto del mismo cielo, como en el interior de edificios reales y en escala (ver Figura 1 a y b). La distribución de la luminancia no es uniforme, ya que su valor cambia según el ángulo de altura considerado. Fueron elaborados modelos teóricos simplificados, que simulan aproximadamente la distribución de luminancia del cielo nublado real. El modelo más utilizado e internacionalmente reconocido es el Standard Overcast Sky, definido por la Comisión Internationale de l'Éclairage (CIE). En éste, la distribución angular de la iluminancia del cielo fue definida principalmente en base a mediciones realizadas en Europa a diferentes latitudes.



a) Variación en 10 minutos, 10.45 horas en invierno.



b) Variación en 12 minutos, 12.45 horas en invierno.

Figura 1. Variación de la iluminación sobre plano horizontal: variación porcentual desde el promedio (100%) en minutos.

Con el fin de verificar la validez del modelo en latitudes más bajas que las europeas, se realizó una serie de mediciones utilizando un aparato especialmente preparado para tal fin. El aparato consiste en una bandeja de apoyo que gira sobre un eje horizontal, sobre la bandeja se coloca un luxómetro con un tubo de cartón negro que limita la luz que llega al sensor. La bandeja, el sensor y el tubo giran para obtener luz de un sector limitado del cielo, a distintas alturas angulares y orientaciones. El tubo permite recibir luz de un sector del cielo con un ángulo sólido de 4° aproximadamente. En días nublados, las mediciones realizadas en invierno y verano indican una distribución de iluminancia del cielo real de Buenos Aires, latitud 34° S, muy similar a la distribución del modelo teórico. Este resultado indica la validez del modelo teórico desarrollado en otras latitudes, para cielo nublado de latitud 34° .

CALIBRACIÓN DEL CIELO ARTIFICIAL

Se realizaron mediciones de la distribución angular de la iluminancia del cielo artificial con el fin de comparar estos valores con los correspondientes al modelo teórico del CIE y con las mediciones realizadas en cielo real. Los resultados, presentados en otra ponencia (Evans 1997b), indican una buena correlación entre las tres series. Otras mediciones realizadas con intervalos de 15 segundos indican una importante variación en el tiempo de los valores de iluminancia, debido al calentamiento inicial de los tubos fluorescentes. La Figura 2 indica dicha variación. Se puede apreciar un rápido aumento de la iluminancia durante los primeros dos minutos de encendido del cielo, causada por la entrada en régimen de los tubos, y posteriormente se registra una disminución leve provocada por la disminución de la eficiencia luminica de los tubos con el aumento de la temperatura.

Cabe aclarar que la característica espectral de la iluminación sobre el plano de trabajo en el cielo no es óptima debido a la distribución espectral de los tubos fluorescentes, la absorción de la película difusora y la mayor absorción de ondas rojas en los espejos, los cuales dan a la luz un característico color verde después de múltiples reflejos. El uso de tonos de grises en las maquetas evita problemas de respuesta espectral. En maquetas con colores, se puede registrar leves imprecisiones con importantes superficies de color rojo o de colores que coinciden con las frecuencias pico de los tubos (370, 410, 440 540 nm).

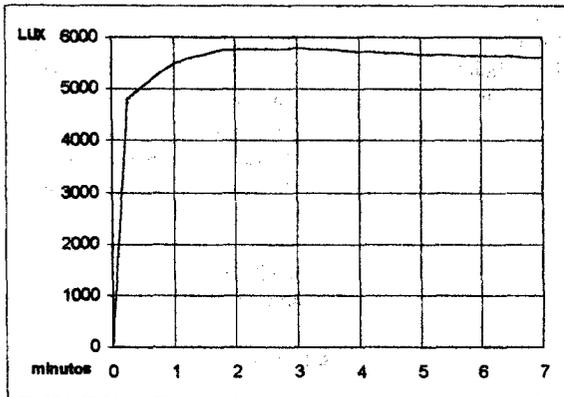


Figura 2. Variación de los valores de iluminancia

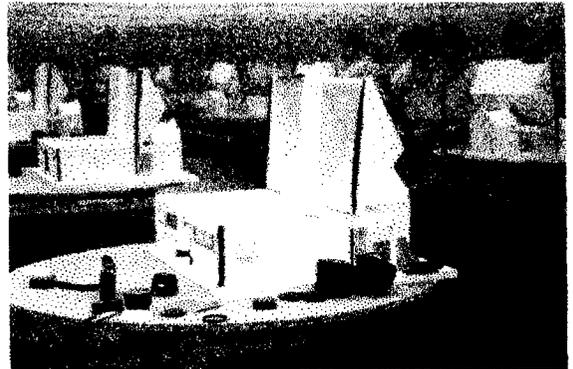


Figura 3. Foto del interior del cielo artificial.

CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS.

El instrumental utilizado para la realización de las mediciones está constituido por 4 luxómetros comunes (Modelo TES1330, TES1332 y LT Lx 103) que usualmente se utilizan para mediciones en ambientes reales con iluminación artificial, y un luxómetro Marca LI-COR dotado de un sensor específicamente diseñado para ser utilizado en maquetas.

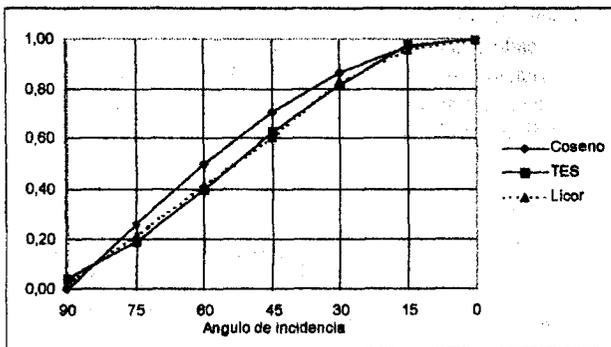


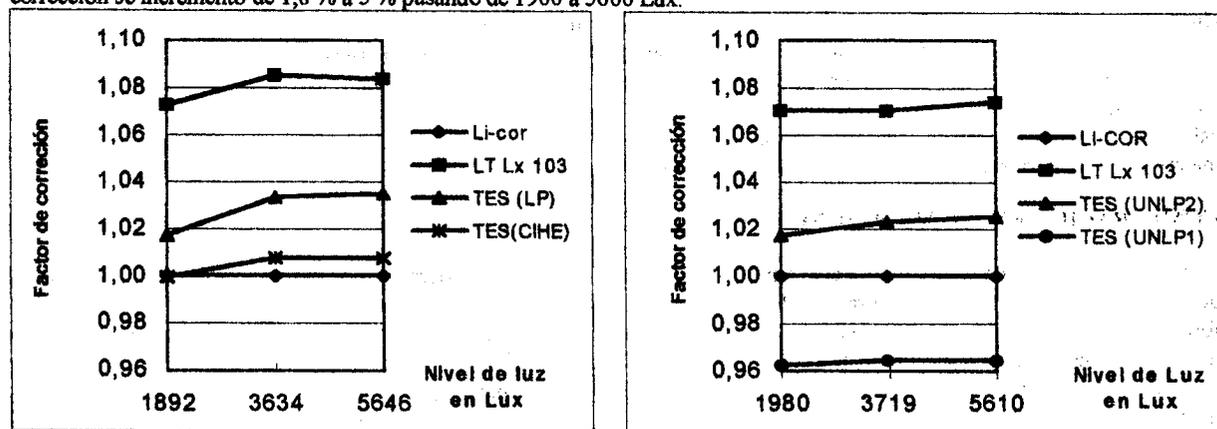
Figura 4. Variación proporcional de los registros, según ángulo de incidencia, comparado con la variación según ley de coseno.



Figura 5. Calibración instrumentos utilizados para distintos ángulos de procedencia de la luz.

Las mediciones iniciales realizadas con un luxómetro TES demostraron una diferencia significativa entre la respuesta teórica al ángulo de incidencia (respuesta de coseno) y la respuesta medida. Por eso, se realizaron mediciones comparativas del instrumental disponible con el fin de verificar la respuesta de los sensores según el ángulo de incidencia de la luz. Se efectuaron mediciones con una lámpara incandescente de 150 watts con vidrio claro a una distancia de 30 cm y ángulos de incidencia de 0° a 90°, con intervalos de 15°, en un recinto oscuro. El sensor LI-COR presenta una respuesta con valores más cercanos a los de la curva teórica óptima, aunque todavía existen diferencias de hasta el 10% para los ángulos de 60° y 45°. (Figuras 4 y 5).

Adicionalmente se realizaron mediciones comparativas de los valores de iluminancia registrados con distintos sensores, con iluminación difusa proveniente del cielo artificial. Se utilizó el nuevo sensor Li-Cor, recientemente calibrado en fábrica como patrón. Se compararon los registros de los diferentes luxómetros con distintos niveles de iluminación, usando 1, 2 y 3 fases del cielo artificial, correspondientes a 1900, 3700 y 5600 Lux respectivamente. La figura 6 indica los resultados obtenidos. La variación máxima entre los instrumentos es de + 8,5% (LT Lx 103), mientras que los otros instrumentos requieren factores de corrección de -1% (TES, CIHE), +3,5% (TES 1, UNLP) y -3% (TES 2, UNLP). En general, no hay variación significativa en los factores de corrección con distintos niveles de iluminancia; pero en el caso del luxómetro TES20 (UNLP), su factor de corrección se incrementó de 1,8 % a 3 % pasando de 1900 a 5600 Lux.



a) Primera serie, con luxómetro TES del CIHE

b) Segunda serie, con 2 luxómetros TES de la UNLP

Figura 6. Factores de calibración de los distintos luxómetros utilizados en las mediciones.

USO DE MODELOS A ESCALA.

Cuando se construye una maqueta en la cual se tienen que realizar mediciones de iluminación natural es aconsejable realizarla en una escala mínima de 1:20 (Baker, 1993), para facilitar el posicionamiento de los sensores y lograr una altura de la superficie receptora correspondiente al plano de trabajo.

En la construcción de las mismas hay que elegir con cuidado el material empleado y evitar aquellos que son levemente translúcidos, como por ejemplo el cartón blanco y el poliestireno expandido, porque inducen valores residuales de iluminancia. Estos valores se miden en el interior de las maquetas colocando material opaco sobre todas las aberturas y midiendo el valor de iluminancia en el centro del recinto; se compara este valor con el medido en la misma posición, pero con entrada de luz a través de las aberturas y con el valor de iluminancia exterior sin obstáculos. Los resultados obtenidos con una maqueta de un aula escolar, construida con una capa de poliestireno entre dos hojas de cartón blanco, dan un valor de iluminancia interior con ventanas abiertas de 617 Lux (FIN 10.9%), y un valor residual con ventanas tapadas de 147 Lux (FIN 2.6%). Este valor muy elevado remarca la importancia de la elección y uso de un material totalmente opaco. Otro factor que hay que tener en cuenta es el del sellado de las juntas para impedir el ingreso indeseado de luz en las aristas de la maqueta, ya que de este modo se incrementan y modifican los valores medidos. Este efecto se registra especialmente en modelos desarmables en los que se aconseja el uso de cinta aisladora negra para cubrir las eventuales rendijas. Hay que prever aberturas en la maqueta para permitir la colocación y deslizamiento de los sensores en el recinto y también para realizar fotografías en el interior de la misma.

Se establece una malla regular de puntos en los que se efectúan las mediciones, incluyendo en ella los más significativos, conformándose una grilla que responda a las características geométricas del recinto en estudio. Un factor importante a considerar es la correspondencia existente entre las distribuciones de puntos de medición, adoptadas en los diferentes métodos de evaluación utilizados: mediciones realizadas en maquetas en el cielo artificial; simulaciones numéricas; mediciones *in situ* de interiores de edificios en uso. La densidad de la malla de puntos afecta directamente los valores de FIN mínimo y máximo, y consecuentemente los factores de uniformidad y contraste. La elección de una malla con mayor densidad facilita la comparación entre métodos y logra una mayor precisión y cobertura en la graficación de las curvas de isolinias, sin embargo las mallas más densas requieren un tiempo de realización de las mediciones más largo. Para obtener resultados correspondientes a los reales es muy importante establecer con la mayor aproximación posible los valores de los coeficientes de reflexión de superficies interiores (y exteriores) del modelo en escala. Además, es imprescindible conocer con exactitud el valor del coeficiente de transmisión de las superficies transparentes a través de las cuales penetra la luz en los recintos.

Para establecer los coeficientes de reflexión, se utilizó el catálogo "Paint Colours for Building Purposes" (BS 4800, 1972), en el cual se presentan muestras de 85 colores y su respectivo valor Munsell, que indica la reflectividad de la luz visible. Con estas muestras, se puede estimar la reflectividad de colores y materiales con una precisión de +/- 5% aproximadamente. El uso de tonos de gris en maquetas con las misma reflectividad que los colores reales evita problemas espectrales. Se realizó el diseño de un equipamiento experimental que permitirá la medición y evaluación de los coeficientes de reflexión, *in situ* y en laboratorio.

El valor del coeficiente de transparencia se puede establecer empíricamente a través de mediciones efectuadas con muestras del material transparente colocado sobre el sensor ubicado en un plano horizontal e iluminado con luz difusa del cielo artificial. El acrílico (plástico transparente) utilizado, de 1 mm de espesor, resultó tener una transmisión del 85%, mientras que el vidrio de 4 mm tiene una transparencia del 86%. En la bibliografía sobre el argumento se encuentran valores parecidos a los medidos.

En los interiores hay que considerar la presencia de equipamiento y de personas. Los muebles no sólo tienen coeficientes de reflexión que difieren de los de las paredes y del techo, sino también incrementan la superficie total de absorción, aumentando la "rugosidad" y disminuyendo el coeficiente de reflexión interno.

Una correcta evaluación de las condiciones lumínicas de un recinto depende también de la consideración de los objetos y obstáculos exteriores existentes: vegetación (árboles, arbustos y enredaderas), muros (medianeras, línea municipal, etc.) y otros edificios. El color del solado exterior es otro factor importante debido a su influencia sobre la cantidad de luz reflejada hacia el interior del edificio y en especial hacia el cielorraso. De la observación de solados duros típicos, como baldosas calcáreas y de hormigón, ladrillos, etc., se registra un cambio de reflectividad con diversas condiciones de humedad de los materiales; además si son exteriores aumentan su absorción con el tiempo debido a suciedad, moho, musgo, etc.

COMPARACION ENTRE MEDICIONES Y SIMULACION NUMERICA

Se compararon resultados obtenidos con mediciones en el cielo artificial y con programas de simulación numérica. El programa de simulación utilizado 'Daylight' (Frame, 1991) no contempla el uso de techos inclinados, por lo tanto se utilizaron soluciones formales aproximadas a los casos reales. La diferencia entre el número de puntos calculados por computadora y los puntos medidos en maqueta induce un desfase importante entre los valores máximos obtenidos en ambos casos. Por ejemplo, en el caso de un aula con techo a dos aguas, superficies interiores claras y ventana grande en una sola fachada, el valor máximo medido es igual a un FIN del 13% y el punto de medición se sitúa a 1.50m de distancia de la abertura. A la misma distancia, el valor calculado de FIN corresponde a 12%, una diferencia aceptable considerando los límites de precisión de las mediciones. Si se adoptara una malla más densa, similar a la que se utiliza con los programas de simulación, el valor máximo medido sería más alto, debido a la mayor cercanía a la ventana (por ejemplo: a una distancia de 0.20 m de la abertura, el valor máximo obtenido con la simulación es de 29.9%) (San Juan, 1998). Con una ventana igual al 50% de la fachada, el FIN máximo fue 11,8% y 12,3% respectivamente con simulación y medición en el Cielo, mientras el FIN medio fue 4,5% y 5,9%.

CONCLUSIONES

Las mediciones realizadas durante el primer año de uso del Cielo Artificial permitieron verificar la utilidad de este equipamiento para estudiar problemas de iluminación natural, presentándose como una herramienta práctica tanto para trabajos de investigación como para verificar el desarrollo de proyectos de arquitectura. De la experiencia adquirida en cielo artificial y en cielo real, se logró también establecer una serie de recomendaciones de uso y metodología de trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo cuenta con apoyo económico de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires y la Agencia Nacional de Promoción de Ciencia y Tecnología. Se agradece la colaboración realizada por Christel Biener, becada por la Fundación Carl Duisberg Gesellschaft, Alemania, durante su período de pasantía en el CIHE (1997-98).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Evans, J. M., Baroldi, G. M., Marmora, M. I. (1997a) "Diseño y Construcción de un cielo artificial tipo espejo". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Volumen 1, N. 1. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Volume 1, pp. 121-124.
- Evans, J. M., Baroldi, G. M., Marmora, M. I. Equipamiento para el estudio de iluminación natural (1997b). "Diseño, construcción y calibración de un cielo artificial". IV Encuentro Nacional de Conforto no Ambiente Construido, Salvador, Bahía, Brasil. 24-28 de noviembre 1997, pp. 319-322.
- CIE, Commission Internationale d'Eclairage (1970). "Daylight". Publicación CIE No 16 (E-3.2) París.
- Baker, N. et al. (1993). "Daylighting in Architecture" EUR 15006 EN, James & James. Londres.
- BS 4800: 1972 (1972). "Paint Colours for Building Purposes". British Standard Institution. Londres.
- Frame, I. & Birch, S. (1991). "Daylight Version 4.1", Dept. of Built Environment, University of East Anglia.
- San Juan, G. A., Evans, J. M., et al (1998). "Evaluación del comportamiento lumínico en aulas con diferentes soluciones de envolvente edilicia". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. N. 2. Salta, Argentina.

**EVALUACION ENERGETICO-AMBIENTAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE.
EL CASO DEL GRAN LA PLATA**

Olga Ravella, Hernán Olivera*, Laura Aon*, Gustavo Baradkjian*

IDEHAB, Instituto de Estudios del Habita, FAU, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. UNLP, Universidad Nacional de La Plata. Calle 47 N1 162. CC.478, (1900) La Plata, Argentina. Tel.Fax. (54-21)21-4705. Email: oravella@arqui.farulp.unlp.edu.ar

RESUMEN

El transporte urbano, indispensable para el funcionamiento de las ciudades, es uno de los factores principales de contaminación y degradación ambiental. El aumento del parque automotor, la ineficiente gestión del transporte público y del sistema de tráfico, el crecimiento caótico de las ciudades, una infraestructura de transporte inadecuada confluyen para provocar los conflictos ambientales y de funcionamiento urbano. Para disminuir los efectos negativos es necesario adoptar una propuesta de transporte "sustentable" que implique la implementación de un proyecto que considere todos los factores: espaciales, de gestión, económicos. En el presente trabajo se presenta un estudio comparativo de dos propuestas basadas la primera en el mantenimiento de las tendencias actuales y la segunda implementando medidas para disminuir los impactos producidos por el sistema de transporte. Se verifica que entre una y otra se puede producir un incremento o un ahorro de más-menos 20% en el uso de combustible y sus respectivos impactos ambientales.

INTRODUCCIÓN

El sistema de transporte urbano (que incluye la infraestructura, los diversos modos públicos y privados de movilidad y la gestión del Estado y empresarial) son en gran medida responsables del crecimiento de las ciudades y de los impactos ambientales. Las decisiones de políticas, proyectuales y de gestión contribuyen a morigerar o no los efectos negativos y al mejoramiento de las condiciones del vida del conjunto de la población. El transporte es uno de los factores del funcionamiento urbano regional que es -en la actualidad- objeto de estudio. Por una parte por las transformaciones territoriales vinculadas al cambio de las relaciones de producción: nuevas vinculaciones entre regiones y nuevas formas de organización de la economía. Por otra parte por los conflictos que se producen con el incremento del parque automotor privado, que se manifiesta en congestión de corredores y centros urbanos, por la falta de infraestructura adecuada para la optimización del sistema de transporte público y la utilización de otros medios, por el crecimiento demográfico y nuevas actividades. Para enfrentarse a estos problemas se están desarrollando diversas propuestas y herramientas de evaluación que posibiliten la toma de decisiones adecuadas a las necesidades del conjunto de la población.

En este sentido se está desarrollando un modelo de evaluación que contemple todos los aspectos involucrados. Uno de los aspectos que abarca el proyecto - que se presenta en este trabajo- es el impacto energético-ambiental que se basa en la determinación de proyecciones de la situación actual¹. Para ello se adoptó la técnica de escenarios, según la concepción propuesta por L'Observatoire Communautaire del Environment de Lille, Francia(F.Herán, 1995)¹ que contempla dos propuestas: 1) basada en la continuidad de las tendencias verificadas en el presente o de incremento del parque automotor y 2) promoviendo el transporte público de pasajeros o de equilibrio entre modos.

2. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

La micro-región del Gran La Plata está localizada a 60 Km de la Capital Federal. Conformada por tres municipios y sus respectivas cabeceras urbanas: Berisso, Ensenada y La Plata. Sus actividades principales son: Complejo Petroquímico y Destilería de Petróleo, la sede de la Universidad Nacional y las actividades terciarias derivadas del rol como capital provincial de la ciudad de La Plata. Los corredores de transporte principales determinaron el crecimiento urbano: hacia el norte, sobre las vías que la unen a la Capital del país (Caminos Gral. Belgrano y Centenario). Hacia el sur, sobre las calles que la vinculan a rutas provinciales. Varias de ellas, originalmente interurbanas, hoy se conforman como calles urbanas, debido al crecimiento y consolidación de los asentamientos circundantes y careciendo de las facilidades de esta categoría. La microregión cuenta con aproximadamente 680.000 habitantes y produce aproximadamente un total de 634000 viajes equivalentes a 0,9 viajes/habitante.

De ese total el 83,5% se realizan en modos mecanizados. En particular, los desplazamientos en automóvil alcanzan al 35% de los viajes. En el último decenio, la cantidad de automóviles pasó de 1/7 (1980) a 1/5,4 autos/personas (1998). Con un

* Colaborador

¹ Información obtenida por encuesta origen destino realizada en 1993/94 por convenio con la Municipalidad de La Plata - Universidad Nacional de La Plata.

incremento proyectado de entre un 5 y 10% de nuevos automotores. Se estima una relación de 1 auto por cada 4.5 personas para el año 2005 cuya población se estima en 715000 habitantes

4. DETERMINACION DE LOS ESCENARIOS

Los escenarios propuestos se caracterizan a continuación:

a. Escenario de incremento del tráfico de automóvil. Está basado en las tendencias que se registran en la situación actual en relación al uso de los modos de transporte, caracterizadas por: i. Incremento porcentual de la circulación de automóviles particulares ocupados sólo por el conductor; ii. Incremento de los viajes en automóviles con conductor (remises); iii. Decrecimiento del transporte público automotor; iv. Incremento de los viajes en medios rígidos fundamentalmente en las zonas atravesadas por el mismo; v. Tendencia al incremento de los viajes en dos ruedas pero restringidos por inseguridad vial; vi. Mantenimiento de los porcentuales de viajes caminando. Las medidas a implementar en el diseño de la infraestructura deben ser coherentes para facilitar el tráfico de automóviles.

b. Escenario de equilibrio entre modos o de la ciudad ciclable Prevé la implementación de políticas integrales basadas en decisiones que promuevan la disminución de los viajes en automóviles particulares fundamentadas en: i. Moderación del tráfico de automóviles; ii. Crecimiento del transporte colectivo, dos ruedas y viajes caminando. Las medidas asociadas son aquellas que posibilitan el desarrollo de estos modos y que tienden a equilibrarlos, preservando la libertad de circular. Las variables consideradas son: a. Transporte público automotor; b. Transporte público en medios rígidos; c. En automóvil como conductor; d. En automóvil como pasajero; e. en dos ruedas; f. A pie; g. En otros medios. A partir de datos obtenidos en censos nacionales, encuestas y relevamientos se elaboró la base de datos de la situación de referencia de 1998 y las estimaciones para los escenarios del año 2005². Para la situación de referencia (1998) se estimó una población de 680125 y un total de viajes de 634381 cuya distribución según medios se sintetizan en el gráfico 1 en el que se relaciona la situación de referencia y las estimaciones para los dos escenarios propuestos.

Escenario 1 -INCREMENTO AUTOMOTOR

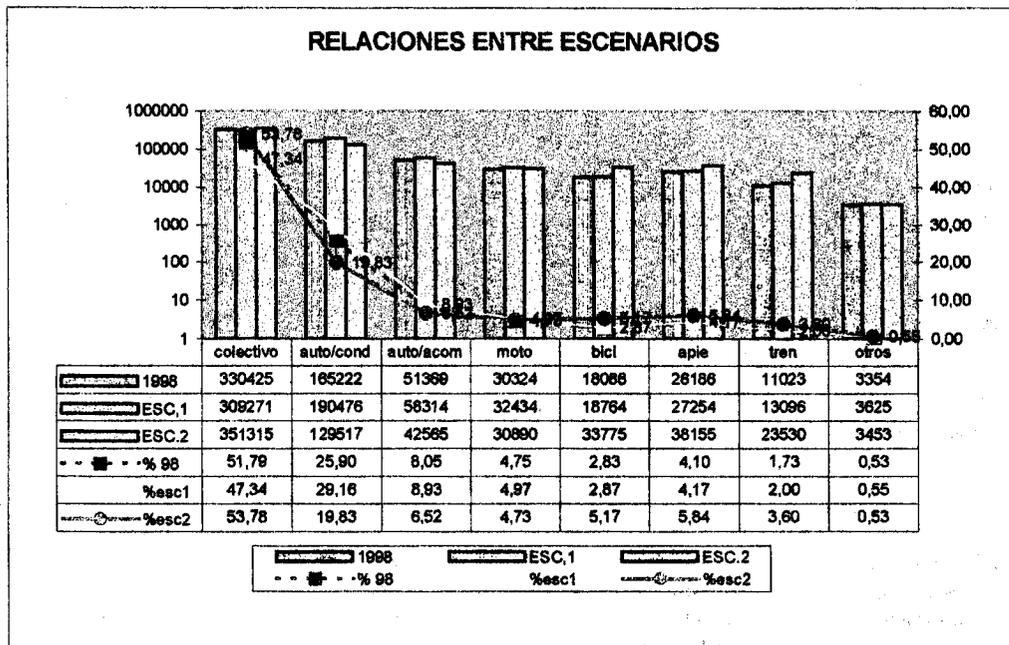
Siguiendo la tendencia actual se consideró: a) un incremento del 15,3% de los viajes en auto de los conductores, Se considera que el 80% de los viajes se realizan con el conductor sin acompañante b) un incremento del 13,5% de los viajes en auto acompañante que equivale a una ocupación a 1,17 pasajeros por vehículo y que incluyen los viajes en remises; c) se consideró una disminución de -6,4% de los viajes en transporte público; d) un mínimo incremento de los viajes a pie y en bicicleta, por el aumento de la inseguridad e incremento de accidentes; e) Incremento de los viajes en ferrocarril, para el área norte de la micro-región. Este escenario mantiene las tendencias actuales en el cálculo del incremento de utilización de cada modo. Implica que la situación actual de congestión de los corredores de accesos y de los centros urbanos de las tres ciudades se aumentará en detrimento de la calidad de vida urbana y los problemas asociados. La infraestructura vial no está adecuada para permitir la circulación fluida de los automotores y no se ha implementado infraestructura adecuada para el estacionamiento en las zonas críticas fundamentalmente centrales y en áreas de crecimientos. Las medidas asociadas se vinculan con el diseño de la infraestructura que debe adecuarse para facilitar el tráfico de automóviles, nuevos estacionamientos en los centros de atracción, prohibición de transporte en bicicleta para evitar accidentes de tránsito y señalización adecuada para el mejor funcionamiento de la ciudad.

Escenario 2: ALTERNATIVO O DE EQUILIBRIO DE MODOS

Este escenario se construye a partir de la hipótesis de que es posible modificar la tendencia actual a partir de producir las medidas necesarias para promover el transporte público de pasajeros y el aumento de los viajes en bicicleta que ya es una tendencia que se incrementa cuando existen las condiciones adecuadas. Se considera: a. Una reducción de los viajes en automóviles de conductores directos en un -6,7%; b. Se considera una reducción de los viajes con acompañante de -5,7% (incluye los remises); c. Se considera un aumento del 6,3% en el transporte público automotor, para viajes hogar/trabajo a más de 5 kilómetros y 19,8% en los viajes en tren. d. Se estima un incremento de viajes en bicicleta para trayectos de menos de 5 kilómetros. Para lograr esta situación es necesario implementar medidas que tienen que ver con el diseño de las vías de circulación incorporando una red de bicisendas y red de aceras para los peatones, con una gestión adecuada a las distintas necesidades de la demanda, una gestión del Estado y empresaria que aseguren menores tiempos de viaje, mayor confort y seguridad, restricciones de acceso a los centros de atracción, implementación de estacionamientos de autos y bicicletas en las terminales de transporte de media distancia y señalización diferenciada para transporte público, automóviles y bicicletas. El cambio de modalidad de desplazamiento está asociado a la adecuación de las vías, fluidez de tránsito del transporte público, menores tiempos de viaje, mejorar la seguridad y la comodidad. d) Mantenimiento de los viajes en tren en la zona norte igual que en el escenario anterior. En ambos escenarios es necesario realizar inversiones para resolver los problemas actuales y afrontar los crecimientos futuros. La evaluación económica no se ha realizado aún pero presentamos ahora una evaluación a partir de los impactos ambientales de cada uno. A continuación se presenta en el gráfico los datos de la situación de referencia y los escenarios:

² Datos obtenidos encuesta de origen y destino realizada por Convenio con la Municipalidad de La Plata y ajustados a través de relevamientos y con información secundaria obtenida de Ferrocarriles, Municipalidad de La Plata.

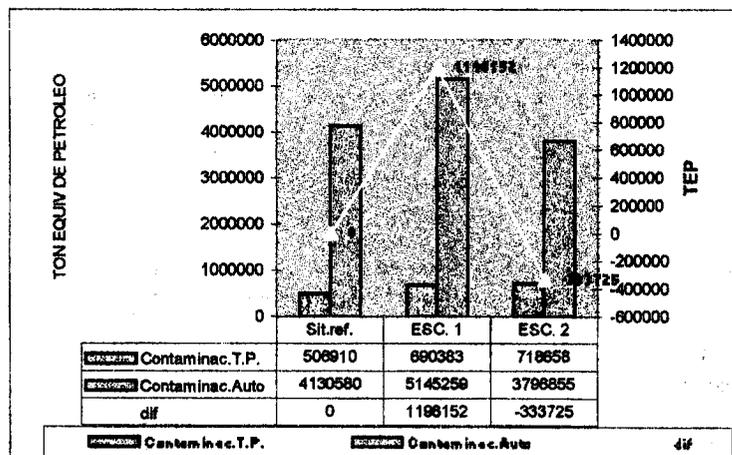
Gráfico 1. Relación entre la situación de referencia y los escenarios 1 y 2



4. EVALUACION DE IMPACTOS

Evaluar los impactos económicos y ambientales es una tarea difícil. Si bien existe abundante bibliografía sobre la forma de estimar y determinar los costos de emprendimientos en los que intervienen variables ambientales, de calidad de vida de la población y de funcionamiento urbano, no hay hasta el presente modelos que interrelacionen los costos y beneficios directos con los costos sociales y ambientales a largo plazo.

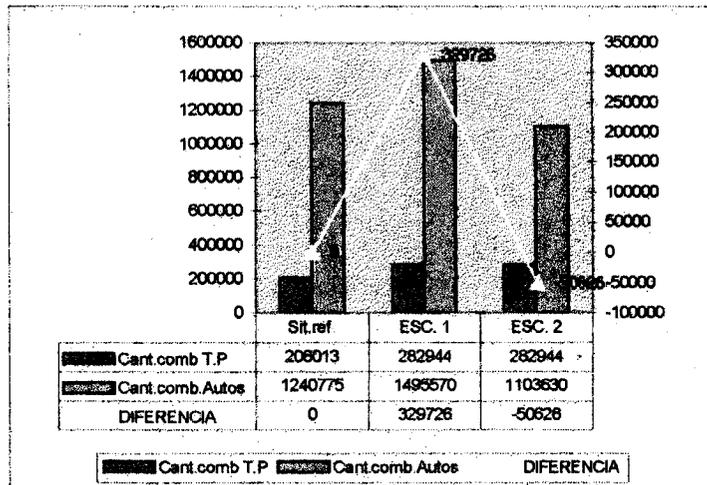
Gráfico 2. Relación de la producción de contaminación sobre escenarios



Cualificar y cuantificar las variables intervinientes es una tarea delicada y que demanda profundización del alcance de cada una. En este estudio se realizó una estimación del consumo de combustible y el consiguiente impacto producido por la emisión de CO₂. Para ello se estimó el consumo de gasoil que utiliza un autotransporte para trasladar un promedio de 40 pasajeros cada 100 kilómetros recorridos y el consumo de gasolina en automóvil considerando una ocupación de 1,27 por/vehículo. Asimismo se realizó una estimación de la emisión contaminante en kg/TEP³ producida por cada uno de los medios antes mencionados. Se estima que el traslado de 40 personas en ómnibus implica una contaminación estimada de 73,2 Kg de emisión de CO₂ por cada 100 kilómetros recorridos, mientras que es de 1032,1 kg de emisión por cada 100 kilómetros recorridos para trasladar las mismas 40 personas en automóviles privados. En gráfico 3 se muestran los consumos de combustibles y en el gráfico 2 la cantidad de contaminación. Ambos datos estimados para los dos escenarios.

³ Se estima que 1 TEP equivale a 1215 litros de fuel oil. La contaminación del fuel oil se estima en 3050kg/TEP y de la nafta en 1.4 veces mayor. Los datos fueron elaborados por el Ing. Carlos Discoli de la U.I. n° 2 del IDEHAB, en base a datos de distintas mediciones y en distintas fuentes y ajustadas para el caso del transporte.

Gráfico 3. Consumo de combustible según escenarios.



En relación a los combustibles se puede apreciar un ahorro de 50626 litros mensuales, por cada 100 Km recorridos por 40 personas en el caso del escenario 2 mientras que se produciría un aumento muy importante en el caso del escenario 1 que se incrementaría en aproximadamente 300000 litros de combustible por cada 40 pasajeros trasladados a 100 km. Asimismo si se racionalizan los recorridos del transporte público, sin disminuir los servicios a la población, se podría producir un ahorro aproximado de 90.000 litros de fuel-oil mensuales.

CONCLUSIONES

De lo analizado surge que el ahorro de combustible y el control de la contaminación ambiental producidos por el sistema de transporte de personas son posibles en el marco de una propuesta integral con una concepción de desarrollo "sustentable". Para ello es necesario implementar una planificación integral transporte/uso de suelo/infraestructura de transporte y servicios asociados a partir de formular lineamientos sobre el funcionamiento de la ciudad-región. La implementación del transporte desde una visión sistémica permitirá reestablecer una relación armónica entre las necesidades crecientes de movilidad de la población y el control del medio ambiente. Para ello sería conveniente rescatar la planificación del tráfico ferroviario para ser aplicada a un sistema hábitat: mecanismos que tiendan a minimizar la infinita cantidad de movimientos erráticos cuya sumatoria produce un gasto energético enorme, al mismo tiempo que contribuye a crear el caos urbano y aumento de la contaminación. Para lograr esta nueva concepción del sistema-hábitat es necesario estudiar e implementar acciones que deben ser entendidas sobre tres ejes diferentes: 1. *Desde la organización del territorio*: promoviendo -sobre criterios de expansión urbana- densificación y diversificación de actividades productivas y de servicios en barrios; 2. *Desde las empresas*: modernizando la gestión e introduciendo innovaciones tecnológicas adecuadas y 3. *Desde la gestión del tráfico*: priorizando la circulación de vehículos de transporte público, desalentando el uso del automóvil y con la incorporación de una estructura importante en materia de teleinformación y telecomando de señalización. Desde el control del tráfico se deberá entonces, apuntar al control de la demanda y a influenciar, en cuanto sea posible, la elección de los modos para movilizarse: transporte público o vehículos particulares, hora para realizarlo, ruteo óptimo y aún la decisión de viajar o no en las horas pico. Estos lineamientos son imprescindibles para revertir el modelo Urbano-automotor que quedó planteado en el proceso de urbanización. De lo contrario se seguirá con sistemas de transporte, inmersos en un caos, difíciles de programar. No se podrá, en consecuencia, mejorar el funcionamiento de las ciudades, si no se adoptan criterios que integren las variables de cada subsistema, así como tampoco intentar acciones que limiten los impactos negativos sobre el medio ambiente. Como se puede observar, las diferencias de los impactos ambientales entre ambos escenarios es muy grande, variando entre +/- 20%. Son cifras importantes que ya se están considerando mundialmente y que deben ser tenidas en cuenta en este momento en el que las consecuencias del efecto invernadero son verificadas día a día.

¹ Herán, F. "La ville cyclable. Concept, conditions et impacts" RTS, Francia, junio 1995.

USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA ILUMINACIÓN RESIDENCIAL

Carlos G. Tanides

Grupo Energía y Ambiente (GEA) – Depto. Electrotecnia – Facultad de Ingeniería (UBA)
 Av. Paseo Colón 850, (1063) Capital Federal, ARGENTINA
 Tel.: (+54 1) 343-0891 Int. 361; Fax #: (+54 1) 331-0129; Email: gea@aleph.fi.uba.ar

RESUMEN

En una muestra de 15 viviendas en Capital Federal y Gran Buenos Aires se relevaron diversos tipos de datos con el objeto de analizar las posibilidades del uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación. De este análisis surge que el 86 % del stock de lámparas utilizadas es del tipo incandescente (de muy bajo rendimiento) y que el mayor consumo eléctrico para iluminar se produce en las cocinas. El trabajo propone como reemplazo inmediato de las lámparas incandescentes la utilización de Lámparas Fluorescentes Compactas. Con este fin, se evalúan, en función de los datos y utilizando como índice de comparación el Costo Anualizado Total, los casos en que estos cambios resultan económicamente rentables. A partir del estudio emerge que se podría disminuir el consumo en iluminación un 54 % y que tan sólo reemplazando 2 lámparas por residencia podríamos alcanzar aproximadamente la mitad de este ahorro.

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía eléctrica del sector residencial argentino ocupa el segundo lugar luego del sector industrial superándolo en su tasa de crecimiento anual. El 50 % de toda la electricidad consumida en este sector ocurre en Capital Federal, Gran Buenos Aires (GBA) y La Plata, áreas estas concesionadas a tres distribuidoras de energía eléctrica (Edenor, Edesur y Edelap). A diferencia de lo que sucede a nivel nacional, el sector residencial aquí es el de mayor consumo.

Desde 1994 nuestro grupo de investigación se encuentra estudiando el comportamiento de este sector y analizando la adopción de una "Estrategia energética basada en los usos finales" que promueva principalmente el uso eficiente de la energía dadas sus enormes ventajas para combatir la escasez de recursos no renovables, proveer de servicios energético a un menor costo y minimizar el impacto ambiental causado por la generación, transporte, distribución y consumo de la energía eléctrica. [Tanides, 1997]

De nuestro trabajo —realizado básicamente en la zona de Capital Federal y GBA— ha surgido, entre otras cosas, el patrón de consumo eléctrico residencial en esta área, destacándose que más del 85 % del consumo se produce en tan sólo tres usos finales: la iluminación (lámparas) (32 %), la conservación de los alimentos (heladeras y freezers) (30 %) y los TVs y asociados (televisores, videocasetas y conversores de cable) (16 %). Se han comenzado distintas gestiones para poder aprovechar el potencial de ahorro estimado para el sector—7 TWh para el año 2010— [Tanides, 1997], pero, por diversos factores, sólo vislumbramos como única posibilidad en el corto plazo la promoción de la iluminación eficiente.

RESULTADOS DE UNA AUDITORÍA DE LA ILUMINACIÓN EN EL SECTOR RESIDENCIAL

En 1997 se realizó una auditoría energética de 15 viviendas concentrada exclusivamente en la iluminación [Mazzeo et al.]. El trabajo consistió básicamente en relevar todas las lámparas tomando el dato de su tipo y potencia, las clase de ambientes en donde estaban ubicadas, el consumo total facturado, el número de integrantes de la familia, el nivel social y la superficie cubierta de la vivienda. Adicionalmente se encuestó al grupo familiar sobre el horario de encendido durante el día de todas las luminarias de la vivienda discriminando entre días de semana, sábados y domingos, cubriendo de esta manera las diferencias de hábitos en una familia. La información obtenida aportó datos esenciales para el estudio del potencial de ahorro en iluminación del sector y puede sintetizarse de la siguiente manera.

En términos de tipo de lámparas, el stock en el sector se halla conformado principalmente por las incandescentes (86 %), la mayor parte de las cuales son de 40 y 60 W de potencia. Efectuando el mismo análisis pero considerando la distribución del consumo de energía eléctrica también son las lámparas incandescentes las que originan el mayor consumo (83 %). En la Tabla 1, podemos apreciar la distribución por tipo de lámpara, del stock y del consumo eléctrico.

Tabla 1. Distribución, por tipo de lámpara, del stock y del consumo de electricidad en el Sector Residencial de Cap. Fed. y GBA. [Mazzeo et al., 1997]

Tipo de lámpara	Participación en el stock (%)	Consumo de energía eléctrica (%)
Incandescentes	85,6	83,3
Tubo fluorescente	7,7	11,6
Tubo fluorescente circular	1,4	1,6
Lámpara fluorescente compacta	3,9	1,4
Dicroica	1,4	2,1

La caracterización del consumo por tipo de ambiente muestra que la cocina es el principal consumidor de electricidad para iluminación, seguida por los dormitorios (ver Tabla 2), por lo que resultaría de interés una profundización acerca de las pautas de diseño y del estudio de la forma de utilización de estos ambientes.

LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL

De la Tabla 1 se nota un marcado dominio en el escenario lumínico residencial de las lámparas incandescentes, distribuyéndose el resto en distintas opciones —fundamentalmente— de las del tipo fluorescente. Parece prioritario entonces reemplazar estas lámparas por tecnologías más eficientes.

Existen en el mercado, distintas opciones de lámparas eléctricas, pero el reemplazo más sencillo y efectivo propuesto en un principio es aquel que substituye una lámpara incandescente convencional, de un pésimo rendimiento ($< 10\%$) por una *Lámpara Fluorescente Compacta (LFCs)* de tipo integral (pues poseen el mismo tipo de zócalo, E27). El ahorro energético resultante de reemplazar una tecnología por otra oscila alrededor del 70 a un 80 % para lámparas con flujos luminosos equivalentes. La corta vida útil de las lámparas a reemplazar (incandescentes) y la facilidad de efectuarlo, constituyen la oportunidad más inmediata de ahorro energético en el sector residencial.

En el reemplazo de una lámpara por otra se deberá reparar en ciertos detalles para que el resultado no sea un fracaso que desprestigie a la tecnología, como muchas veces ocurre. Principalmente deberá tenerse en cuenta que las equivalencias sugeridas por los fabricantes —del orden de 5 a 1— se basan en la comparación de los flujos luminosos de estas lámparas bajo condiciones de ensayo estándar que son con el casquillo hacia arriba y a una temperatura de 25 °C. En las LFCs, los flujos luminosos son función de la posición y la temperatura en que operan; fuera de estas condiciones los flujos luminosos pueden disminuir hasta un 20 % [Davis et al., 1994]. También deberá considerarse el artefacto en donde se colocarán, que usualmente se encuentra diseñado para lámparas incandescentes —de otro formato y tamaño—.

Por esto, en este análisis para cubrir estas eventualidades sugerimos en general reemplazos de potencia del orden 4 a 1 que aseguran en la mayor parte de los casos resultados óptimos. Nominalmente este cambio implica un aumento de la cantidad de luz como se observa en la Tabla 3.

LAS OPCIONES DEL MERCADO

Las LFCs se encuentran en el mercado básicamente en dos tipos distintos: a) con balasto electromagnético y b) con balasto electrónico.

Las LFCs de marca reconocida tienen un precio de alrededor de \$ 19 para los modelos electromagnéticos (13, 18 y 25 W). Estos modelos son algo pesados y bastante voluminosos pero su precio es menor al de las electrónicas.

En el caso de los modelos con balasto electrónico los precios para las marcas anteriormente citadas son de \$ 23 para las de menor potencia (7 W) y sólo se incrementan hasta los \$ 27 para las más grandes (23 W). Existen marcas de procedencia china también con balasto electrónico de precios sensiblemente menores, de \$ 13 para 7 W hasta \$ 17 para el caso de potencias de 27 W. Las lámparas con balastos electrónicos son mucho más compactas y livianas y poseen mayor rendimiento que su equivalente electromagnético.

Las LFCs poseen una característica negativa —que empaña la posibilidad de los cambios— que es tener un bajo factor de potencia (fdp) —alrededor de 0,5— lo que las convierte en un arma de doble filo dado el actual control del fdp que están realizando las distribuidoras. Existen en el mundo LFCs que tienen buen fdp ($> 0,9$) pero estas marcas y/o modelos aún no se hallan en nuestro país. Se ha detectado un modelo de procedencia china que declara en su envase *High Power Factor* y *Low Harmonic Distortion* pero las mediciones realizadas en nuestro laboratorio también determinaron un bajo fdp (0,5).

Debido a que el balasto tiene una vida útil muy superior al de las lámparas una opción interesante para el futuro es el desarrollo de luminarias apropiadas para este tipo de lámparas en donde el balasto sea fijo y el elemento intercambiable sea tan sólo la lámpara. En estos casos los costos del reemplazo son sensiblemente menores —del orden de los \$ 6—, haciendo todavía más rentable la medida. Existen ya algunos modelos de luminarias que permiten esta posibilidad, aunque la filosofía no se encuentra lo suficientemente extendida.

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL REEMPLAZO

El análisis para efectuar el reemplazo deberá considerar el mantenimiento o incremento del flujo luminoso y la evaluación de los costos de compra, el costo de operación de las lámparas, su vida útil, las tasas de descuento del mercado etc. Para conju-

Tabla 2. Distribución, por tipo de ambiente, del consumo de electricidad para iluminación [kWh/año-ambiente] en el Sector Residencial de Cap. Fed. y GBA, según muestra. [Mazzeo et al., 1997]

Tipo de ambiente	Consumo anual [kWh]
Cocina	297
Dormitorio	186
Pasillo, galería	120
Living, sala de estar	118
Comedor, living comedor	115
Baño	91
Otros	119
Total iluminación por residencia	1.046

gar todos estos elementos se realiza la comparación en base al índice denominado Costo Anualizado Total (CAT), que tiene en cuenta tanto el valor de compra como de operación de las lámparas —en este caso el costo energético—. El CAT presenta la ventaja de permitir la evaluación simple de alternativas con diferente vida útil como las lámparas incandescentes y fluorescentes. Dadas dos ó más alternativas, será económicamente más conveniente aquella que presente menor CAT. La expresión que permite calcular este índice para una alternativa genérica es la siguiente:

$$CAT_i = C_i \times FRC_i(d, n_i) + PE \times E_i$$

siendo: CAT_i : Costo anualizado total de la alternativa "i"; C_i : Costo inicial de la inversión para la alternativa "i" (en nuestro caso el precio de la lámpara incandescente / fluorescente compacta); FRC_i : Factor de recuperación del capital de la alternativa "i", que anualiza la inversión inicial; PE : Precio de la energía y E_i : Consumo anual de energía de la alternativa "i" en kWh / año.

El FRC_i , a su vez se calcula de la siguiente manera:

$$FRC_i = \frac{d \times (1 + d)^{n_i}}{(1 + d)^{n_i} - 1}$$

donde: d : tasa real de descuento; n_i : vida útil de la alternativa i en años que está dada por:

$$n_i = \frac{VA_i}{HD_i \times 365 \text{ días / año}}$$

siendo: VA_i : Vida útil (en horas de encendido) de la alternativa "i" en horas y HD_i : las horas de funcionamiento diarias.

Para nuestras evaluaciones, utilizamos como índice de comparación el Costo Anualizado Total (CAT)¹ y tomando una tasa de descuento (d) de 0,09, precio de la energía (PE) de 0,10 \$/kWh, y como vida útil de las lámparas (VA_i) 1.000 horas para las incandescentes y 8.000 horas para las LFCs, surge que los cambios de lámparas incandescentes por LFCs con balasto electrónico (el caso de mayor costo y mayor rendimiento) de marca reconocida de flujo luminoso equivalente. Nuestro análisis demuestra que las LFCs serán rentables para cada potencia a partir de un determinado tiempo de uso diario que depende de la potencia. Estos valores se detallan en la Tabla 3.

Potencia de lámpara incandescente [W]	25	40	60	75	100
Flujo luminoso [lúmenes, lm]	230	430	730	950	1380
Costo de compra [\$]	0,50	0,40	0,55	0,55	0,70
Potencia de LFCs [W]	7	11	15	20	23
Flujo luminoso [lm]	300	600	900	1.200	1.500
Costo de compra [\$]	21	21	22	23	24
Tiempo de uso diario a partir del cual el reemplazo es rentable [h]	3	2	1,5	1,5	1

POTENCIAL DE AHORRO EN ILUMINACION

El potencial de ahorro dependerá entonces del patrón de utilización, del tipo de lámparas utilizadas, su vida útil, sus costos y el precio de la energía, elementos estos que intervienen en la evaluación del CAT ya desarrollada. En función de estos elementos, de los resultados de la auditoría realizada y de los reemplazos sugeridos en el punto anterior encontramos que el potencial de ahorro en la iluminación alcanza un 54 % de toda la electricidad consumida para producir luz. Dicho de otra manera, al cambiar de lámparas incandescentes a LFCs consumiríamos menos de la mitad de la electricidad para obtener aún más luz. Pero un análisis en profundidad acerca de la forma de obtener este potencial nos muestra que el ahorro se concentra en unas pocas bocas de luz del hogar, y que reemplazando unas pocas lámparas obtendremos gran cantidad del ahorro posible. La Figura 1 muestra esta situación.

¹ C_i , E_i y VA_i son constantes propias de cada alternativa.

A pesar de que en promedio la cantidad de bocas de luz por residencia en la muestra ha sido de aproximadamente 14, se observa que cambiando las lámparas en 1 sólo punto luminoso de la casa —aquel en donde se consume más energía eléctrica—, en promedio 2,2 lámparas, obtendremos alrededor de un 45 % del potencial de ahorro posible, cifra que se eleva al 70 % si el reemplazo se efectúa en las dos bocas luminosas que más electricidad consumen (en promedio 4,1 lámparas). Por lo tanto frente a un programa de eficiencia energética en iluminación en el sector residencial será de vital importancia identificar aquellos puntos clave que permitirán maximizar el beneficio.

CONCLUSIONES

El uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación del sector residencial representa una de las posibilidades más interesantes encontradas actualmente para combatir la escasez de recursos no renovables, proveer de servicios energéticos a un menor costo y minimizar el impacto ambiental causado por la generación, transporte, distribución y consumo de la energía eléctrica. Varias características refuerzan este concepto.

- 1) El potencial de ahorro demuestra ser muy elevado. Las estimaciones a nivel nacional para la iluminación alcanzan los 3,5 TWh para el año 2010 [Dutt, G.S., *com. pers.*, 1998]
- 2) Pocos puntos luminosos de la residencia concentran la mayor parte del consumo, lo que permite un gran aprovechamiento del potencial de ahorro cambiando pocas lámparas.
- 3) Debido a la corta vida útil de las lámparas a reemplazar (incandescentes) y a que la tecnología para efectuar el cambio se halla disponible en el mercado, el ahorro podrá obtenerse en plazos relativamente breves.
- 4) El uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación es una medida altamente rentable.
- 5) Debido a su alta coincidencia con la demanda pico vespertina de electricidad, una reducción en el consumo energético se reflejaría también en una disminución de la demanda de punta, permitiendo importantes ahorros en las inversiones necesarias para suministrar dichos picos.

Habrá que estudiar con mayor profundidad los efectos del bajo factor de potencia, mientras aparecen en nuestro país las tecnologías que superan esta situación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se encuentra subsidiado parcialmente por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Buenos Aires a través del Proyecto IN007.

REFERENCIAS

- Davis, R.G., Y. Ji, y X. Luan, (1994), "Performance Evaluations of Compact Fluorescent Lamps: What Does "Equivalent" Really Mean?", *Proceedings of the American Council for an Energy Efficient Economy 1994 Summer Study*, vol.3, pp. 3.45 - 3.56.
- Mazzeo, L., F. Bertolotti, y E. Wada, (1997), "Estimación del Consumo de Energía en la Iluminación Residencial", monografía correspondiente a la materia Uso Eficiente de la Energía Eléctrica (65.40), Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Tanides, C.G. (1997), "Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en el Sector Residencial Argentino: estado actual y posibilidades futuras", *ASADES '97*, Río Cuarto, Córdoba, 3 al 6 noviembre.

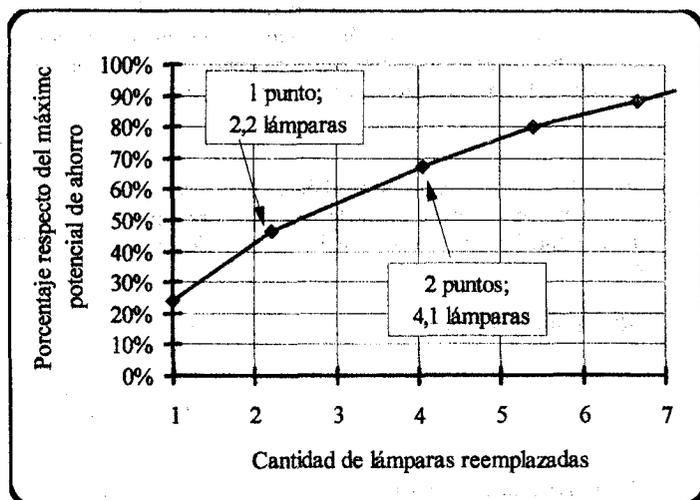


Figura 1. Porcentaje respecto del potencial de ahorro máximo identificado en función de la cantidad de lámparas reemplazadas.

LA ADAPTACION DE ENERGY-10 PARA LA ARGENTINA

Alfredo Rapallini - Eduardo Yarke
Acoyte 217 (1405) Buenos Aires - TE : 902-3001 - FAX : 384-6150
e-mail : yarke@abaconet.com.ar / arapal@mecom.ar

RESUMEN

En este trabajo se comenta el proceso de adaptación del programa Energy-10 (desarrollado por el NREL de los EEUU) que los autores están haciendo para la Argentina y se muestra un ejemplo de aplicación sobre una vivienda existente en el área del Gran Buenos Aires, comentándose los resultados. Además se hace una descripción muy rápida de la forma como el programa Energy-10 opera en su intención de servir de herramienta a los diseñadores que tengan el propósito de proyectar edificios que sean más eficientes que los actuales desde el punto de vista de los consumos energéticos.

EL PROGRAMA ENERGY-10

Desarrollado en el National Renewable Energy Laboratory (NREL) de los EEUU, bajo la dirección del Dr. Douglas Balcomb y con la participación de otras prestigiosas instituciones como el Lawrence Berkeley National Laboratory y el Berkeley Solar Group, el Energy-10 pretende constituirse en una útil y accesible herramienta que colabore con los profesionales dedicados al diseño de edificios, en la concreción de proyectos orientados a obtener bajos niveles de consumos de energía en el funcionamiento de los mismos.

De esta manera se busca aportar soluciones prácticas a un tema de importancia creciente dentro del mundo actual ya que, además de contribuir a proteger al Medio Ambiente (lo cual económicamente es todavía un tema macroeconómico, más propio de la acción reguladora de los gobiernos), la búsqueda de eficiencia energética en los edificios empieza a ser una oportunidad para reducir gastos fijos, lo que resulta de interés tanto para las personas como para las empresas que pueden mejorar su competitividad de esta forma. - Al dejar de ser un tema macroeconómico para convertirse en un tema de vinculado al interés inmediato de la gente, la eficiencia energética de los edificios se convierte en un campo de vastos alcances.

Energy-10 es del tipo de programas que encara este problema de manera integradora, ya que no sólo evalúa los intercambios energéticos entre edificio-clima local en relación con las necesidades de calefacción o de enfriamiento, sino que también analiza las posibilidades que un mejor empleo de la Luz Natural Diurna (daylighting) tiene para ahorrar consumos de energía eléctrica en iluminación artificial; indaga acerca de la manera como será usado el edificio y los consumos pico para cada tipo de energía derivados de ese uso; propone mejoras alternativas a las soluciones constructivas propuestas; analiza la eficiencia del equipamiento que se incorporará al mismo, etc.

La filosofía operativa sobre la que se apoya el Energy-10 consiste en traer incluidos una serie de valores por defecto "defaults", o sea descripciones completas predeterminadas de edificios para diferentes usos y destinos, cada una de las cuales se instaló dentro del programa respondiendo de la manera más exacta posible a lo que los "usos y costumbres" (o los resultados estadísticos cuando existen) indican como la manera más común de construir y usar ese tipo de edificio en un sitio determinado.

Estas descripciones predeterminadas están disponibles con la intención de ahorrarle a los diseñadores, en un momento en que del proyecto solo se tienen algunas ideas generales, la engorrosa tarea de volcar la gran cantidad de datos que toda evaluación energética detallada significa, proponiéndoles en cambio, una solución constructiva y una forma de uso que les resulte familiar y posible.

En este sentido, si bien las versiones originales de Energy-10 (la actual es la Versión 1.2) se han hecho en base a la clasificación de edificios, técnicas y características constructivas y determinaciones estadísticas de las maneras de uso y niveles de consumo prevalecientes en EEUU, la estructura del programa permite que, con mucha dedicación y resolviendo unos cuantos y complejos problemas, se pueda adaptar para ser usado en otros países.

LA TEORÍA DE LOS DOS EDIFICIOS (QUE EN REALIDAD PUEDEN SER VARIOS MAS)

Cuando un usuario de Energy-10 (se supone que es un arquitecto o profesional del diseño o construcción de edificios) comienza a utilizarlo para un nuevo proyecto, le bastan unos pocos datos para tener una idea bastante aproximada de las alternativas y posibilidades con las que contará en su objetivo de lograr un edificio de bajo nivel de consumos energéticos.

Esta información previa actúa como "guía de diseño" (guidelines) y responde a la manera ya clásica como D. Balcomb propone acercarse paulatinamente a un proyecto definitivo, partiendo de la "guía de diseño" y analizando sucesivas soluciones hasta alcanzar aquella que parezca responder con mejores posibilidades a todas los condicionantes tomados en cuenta- (con anterioridad y para la evaluación económica de sistemas solares pasivos, en nuestro país se realizó el programa Optimix (Yarke, 1990) que se apoyaba en esta metodología propuesta por D. Balcomb).

Con sólo definir en la etapa de pre-diseño la localización (estación meteorológica de referencia), el uso (residencial, oficinas, educacional, etc.), la superficie (el programa está previsto para edificios con superficies de hasta 1000m²), la cantidad de pisos o niveles y el sistema de acondicionamiento o calefacción que se instalará (de un listado predeterminado), el programa genera utilizando una herramienta llamada "Autobuild", dos descripciones de edificios de idéntica forma (dos aburridas cajas de zapatos - como las llama Balcomb) listas para ser evaluadas comparativamente entre sí.

El primer edificio (un "default") representa a la manera tradicional de resolver en ese lugar, ese mismo tema en cuanto a características constructivas, perfiles de consumo según el uso, horarios, etc.- Es el llamado "Caso de Referencia".- El Caso de Referencia representa entonces a la vivienda media, a la sucursal bancaria media o al supermercado medio que todos conocemos en el lugar donde vivimos y que, generalmente, no tiene incorporadas técnicas particulares para el ahorro energético.

El segundo edificio (otro "default" predeterminado) representa a ese mismo edificio pero donde ahora se han aplicado la totalidad de las técnicas para el ahorro de energías que el programa trae incorporadas. En la actual versión estas técnicas son doce, pero este número aumentará en las versiones sucesivas (Balcomb, 1997).

Así es como este segundo edificio - llamado el "Caso de Bajo Nivel de Energía" - aparecerá con mejores aislaciones, tendrá vidriados dobles de baja emitancia, controlará los niveles de la luz diurna para disminuir el tiempo de encendido de la iluminación artificial, empleará lámparas de bajo consumo, utilizará sombreados para disminuir los impactos de la radiación solar en épocas cálidas, utilizará sistemas pasivos de ganancia directa en las orientaciones adecuadas, tendrá equipos de acondicionamiento más eficientes que los comunes, etc.

Con estas dos descripciones presentadas para el análisis del usuario, el programa ya se encuentra listo para realizar las simulaciones que evalúen el comportamiento energético de cada edificio y las compare entre sí. Estas simulaciones aportan una gran cantidad de información acerca de consumos, costos de energía consumida, variaciones diarias y mensuales de demandas y recursos, picos de demanda, etc.

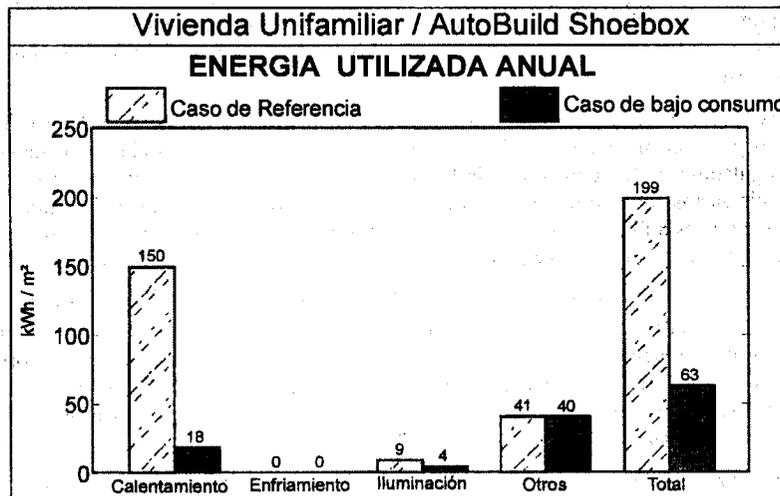


Fig. 1 - Consumos anuales comparativos de la vivienda Caso de Referencia y la vivienda Caso de Bajo Nivel de Energía adoptadas como "default" para la Argentina

Estos resultados se pueden guardar acumulativamente mediante otra herramienta del programa que se llama "Keep" y que resumirá todas las simulaciones que se hagan de ahora en más para el mismo proyecto

Estas primeras simulaciones le servirán de guía al diseñador para fijar metas de ahorro. Otra herramienta del programa, llamada "Rank" le indicará cual es la importancia relativa de cada una de las técnicas que pueden ser empleadas en el proyecto que tiene en desarrollo, lo que le permitirá seleccionar las más adecuadas ya que, con toda seguridad, lo más práctico será aplicar solo algunas de las técnicas que el programa analiza y no su totalidad

Una vez que el proyectista va desarrollando su diseño, cada tanto podrá evaluar en que punto se halla en relación con los casos originales de comparación. Para ello deberá incorporar (como Variantes de los "default" originales) las sucesivas descripciones detalladas del edificio bajo proyecto. En estas descripciones detalladas se deberán definir superficies (de muros, cubiertas, vidriados, etc.), orientaciones reales, la manera como están construidos cada uno de los elementos con todas las capas que lo constituyan, como serán exactamente las carpinterías, etc. (se podrán aceptar las descripciones incluidas en las bibliotecas o se podrán incluir descripciones no previstas) o sea que la tarea se va haciendo más compleja a medida que se avanza. Cada variante deberá ser simulada por separado y "Keep" guardará los resultados de las simulaciones de todas. Este proceso se repetirá tantas veces como el proyectista considere necesario hasta lograr la solución que sea definitiva.

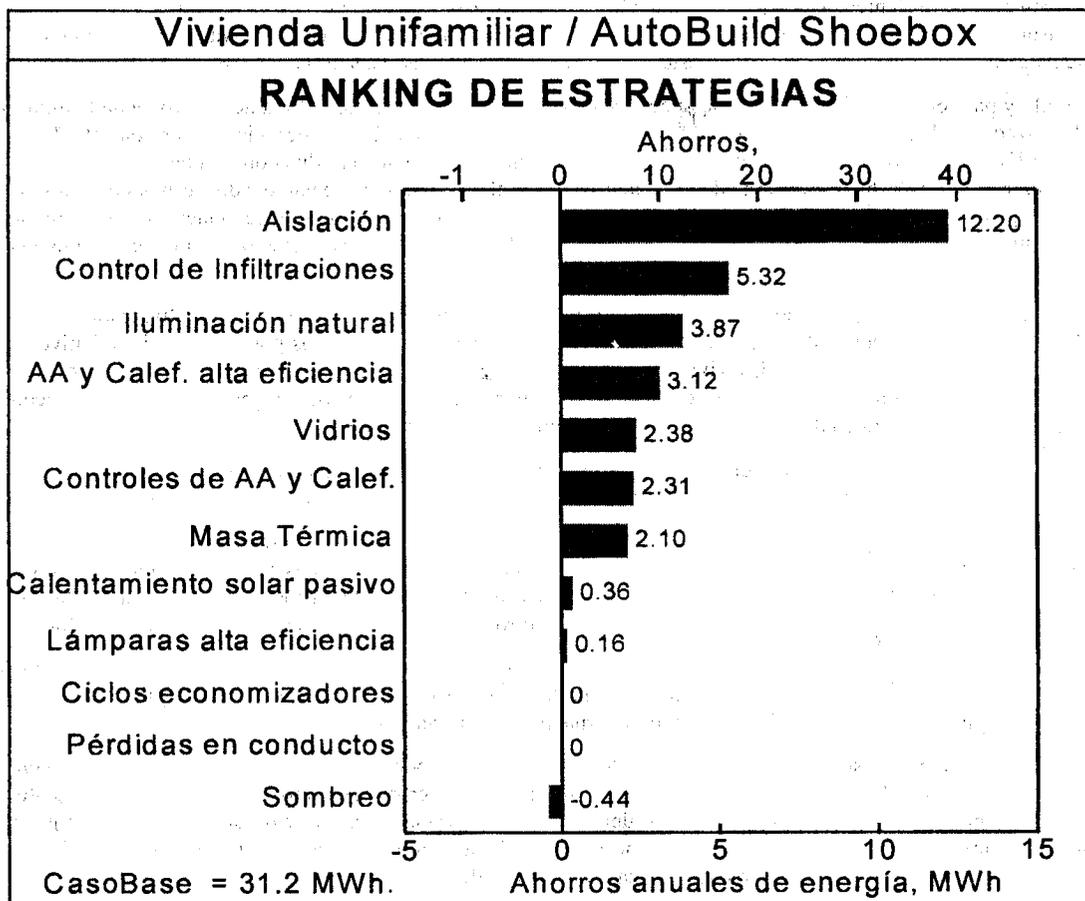


Fig. 2 - Importancia relativa de los ahorros energéticos que se obtienen cuando se aplican cada una de las técnicas en forma separada sobre el Caso de Referencia

LA ADAPTACION PARA LA ARGENTINA

El proceso de adaptación requiere una serie de pasos con diferentes niveles de complejidad. Una parte importante de la información necesaria no está disponible actualmente en nuestro país, lo que obliga a buscar formas alternativas para obtener esta información y que las mismas sean lo suficientemente consistentes.

De entre la información no disponible para adaptar al programa, se destaca el Año Típico Meteorológico (TMY) para cada una de las localidades que se incorporen al programa y que requiere de información horaria de diferentes parámetros como temperaturas de bulbos seco y húmedo, punto de rocío, radiación sobre plano horizontal, porcentaje de cielo cubierto, velocidad y dirección de vientos, etc.

Algunos de estos datos los utiliza el programa para las simulaciones del comportamiento térmico, mientras que otros son utilizados para las simulaciones en las variaciones horarias de la Iluminación Natural, tema este al que D. Balcomb le otorga gran importancia dentro de la estrategia del programa (Balcomb, 1998).

Otro campo de información que no está disponible actualmente en la Argentina es el de los perfiles de consumos medios según destino del edificio y características de uso (shapes).- En EEUU existen estadísticas con las medias regionales y nacionales de este tema, pero en la Argentina sólo existen estadísticas generales según sean consumos de energía eléctrica o gas natural para grandes campos de tipos de consumidores (industrial, comercial, residencial, etc.) - Son muy pocas las empresas que conocen la estructura de sus consumos energéticos (cuál es el consumo en iluminación, o en aire acondicionado, o en computadoras, por ejemplo)

Otra de las tareas que la adaptación requiere es reemplazar todas las bibliotecas existentes de materiales, tipos de muros, cubiertas, carpinterías, vidriados, etc. por las propias de nuestro país, dadas las muy diferentes maneras de construir desarrolladas en ambos países.

A lo anterior se suma la traducción y adaptación de los Help en pantalla y del Manual de Ayuda impreso, así también como la confección de un Libro Guía para el "Diseño de Edificios con Bajo Nivel de Consumo Energético" y la preparación y dictado de los cursos de entrenamiento para un uso adecuado del programa.

Como una manera de encarar las dificultades, se decidió tomar para los "defaults" del Caso de Referencia, edificios existentes, construidos recientemente y sobre los cuales se tenga acceso y oportunidad de verificación sobre las formas de uso, los consumos y el tipo de instalaciones contenidas, además de sus características constructivas y que, de alguna manera, representen a la manera mas común de resolver este tema desde el diseño y los sistemas empleados.

Como ejemplo y para el caso de la vivienda de la cual se muestran algunos gráficos, se trata de una vivienda familiar de dos plantas, localizada en Ing. Maschwitz (zona norte del Gran Bs.As.) de 156m² de superficie, construida (1997) sobre un terreno de 1750m², cuyos muros portantes son de cerámico hueco portante, las divisiones interiores son de ladrillos macizos, el entepiso es de hormigón armado, la cubierta es de chapa lisa sobre entablado de madera y aislación de poliestireno expandido de solo 1cm. de espesor, carpinterías de madera de simple vidrio, revoques exteriores pintados de color claro y utiliza para calefacción un hogar a leña cerrado y estufas a gas natural. No tiene, por el momento, ningún equipo instalado para enfriamiento.

Sobre esta vivienda (ocupada por cuatro personas) se han realizado ensayos, verificaciones y encuestas para determinar su manera de uso y perfiles de consumo. Esta información se completa con trabajos hechos por alumnos de la Universidad de Luján y del CENT 36 sobre sus propias viviendas, tendientes a verificar estas mismas circunstancias. Con toda esta información estamos aproximándonos a valores que esperamos tengan suficiente consistencia para un entorno alrededor de la Ciudad de Buenos Aires y para un determinado nivel socio-económico de población.

Sin dudas, que este es uno de los temas sobre los que habrá que realizar dentro del país investigaciones más precisas si se pretende, en algún momento, establecer algún tipo de normativas dirigidas al uso eficiente de las energías en edificios.

De la comparación entre los diferentes gráficos, surgen interesantes conclusiones. El Caso de Bajo Nivel de Energía (en donde se aplican simultáneamente todas las técnicas que el programa tiene previstas) presenta un consumo global de sólo el 31,6% con respecto al Caso de Referencia (fig. 1) y la diferencia fundamental está en los consumos para calefacción que disminuyen al 12% de los consumos originales, mientras que los otros consumos no muestran diferencias apreciables.

Si observamos en el gráfico 2 cuales son las técnicas mas prometedoras, observamos que se destaca la mejora de las aislaciones muy por encima de las restantes, aunque controlar las pérdidas por chimeneas o controlar la iluminación artificial mediante un mejor aprovechamiento de la Luz Natural Diurna, pueden aportar interesantes contribuciones.

Cuando pasamos de las propuestas de las "cajas de zapatos" a la realidad, podemos ver que la vivienda realmente construida es menos conservativa (fig. 3) que el Caso de Referencia, básicamente por ser menos compacta que una caja de zapatos. Pero aún esta vivienda puede producir consumos menores del Caso de Referencia si, en lugar de utilizar sistemas a gas para la calefacción, se emplea una bomba de calor (con mucho mejor COP) lo cual agrega la nada despreciable ventaja de contar también con sistema de enfriamiento para los largos y cálidos veranos de la región.

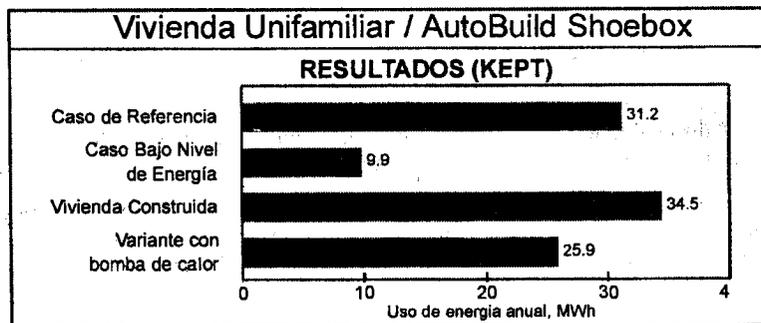


Fig. 3 - Comparación entre los "defaults" incluidos en la adaptación para la Argentina y el caso real de la vivienda que sirvió de ejemplo, a la que se cambia el sistema de HVAC en la variante para mejorar su eficiencia

Como conclusión podemos destacar que el programa Energy-10 ofrece posibilidades de análisis hasta ahora inéditas para los diseñadores de edificios y que su adaptación para la Argentina puede brindar una buena oportunidad para generar nuevas etapas de interés en estos temas.

REFERENCIAS

- Yarke E. (1990) - "Programa Optimix" - Actas de 14 Reunión de Trabajo de ASADES - Mendoza - Argentina.
- Balcomb D. (1997) - "Energy-10: A design Tool for Low Energy Buildings"; Building Simulation 97 Proceedings (IBPSA) Praga - República Checa.
- Balcomb D. (1998) - "The Coming Revolution in Building Design" - PLEA 98 - Lisboa - Portugal.

IMPACTO AMBIENTAL PRODUCIDO POR RESIDUOS PLÁSTICOS

Mi Ra Kim, Rosa Pampena, Viviana Goldsmid y José L. Cáceres
Becarios Alumnos: Analía Quiroga, Sandra Bennun, Darío Ruiz y Sebastián Callol
Grupo de Estudios Sobre Energía, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional
Av. Sáenz 631, CP.1437, Ciudad de Buenos Aires, Argentina
Fax : (01) 911-3349 E-Mail : mirakim@rec.utn.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo presenta el estudio de los procesos de producción que involucran al plástico como materia prima y la búsqueda de alternativas que permitan disminuir el volumen del material plástico desechado, y al mismo tiempo no sólo minimizar los problemas originados por su disposición final, sino también reutilizarlos como fuente de materia prima y/o energía.

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía empleado en la producción de bienes y servicios está cada día más condicionado al impacto que produce sobre el medio ambiente. Al mismo tiempo, el paulatino agotamiento de las reservas petroleras hace pensar en la necesidad de encontrar substitutos, los que además de responder a las variables económicas, deben garantizar la preservación del medio ambiente.

Por otra parte, la producción de bienes siempre trae aparejado impacto ambiental, desde la extracción de las materias primas comprometidas hasta la finalización de su vida útil; en este punto se tienen residuos que generalmente no son aprovechados, y que ocasionan además serios problemas de disposición final.

De manera tal de buscar alguna de las posibles soluciones a los problemas planteados en conjunto, se ha pensado en estudiar los procesos que permiten la mejor gestión de los residuos, desde el punto de vista energético y ambiental.

La información sobre producción fue obtenida a partir de los relevamientos efectuados en una importante empresa productora de artículos plásticos de variada aplicación.

ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS

Disposición Final : Se denominan sitios de disposición final, a espacios especialmente acondicionados para la disposición de los residuos que no pueden ser reusados, reciclados o procesados por medio de las tecnologías disponibles, utilizando para ello métodos que no alteren la calidad de los recursos ambientales. En general, para la disposición final de los residuos, se utiliza el sistema de rellenos sanitarios.

En el caso particular de los residuos plásticos, si bien constituyen solamente el 7% del peso total de los desechos domésticos, ocupan sin embargo el 20% de su volumen, debido a su bajo peso específico. Además, la mayor parte de los materiales plásticos no son biodegradables, lo cual significa que no se ven afectados por la acción de los microorganismos. Si bien se han desarrollado materiales plásticos que pueden descomponerse parcialmente en medios aeróbicos y húmedos, esta descomposición sigue siendo igualmente lenta debido a la alta compactación de los rellenos sanitarios, lo cual impide su contacto con la humedad del aire.

Finalmente, cabe también recordar que los residuos plásticos pueden contener compuestos tóxicos capaces de lixiviarse en el caso de que el relleno carezca de recubrimiento, o bien que éste se haya deteriorado, contaminando así las napas de agua subterráneas.

Recuperación: Se entiende por recuperación de materiales, al reprocesamiento de su materia prima para la obtención de nuevos productos. En el caso de los residuos plásticos, se pueden distinguir cuatro tipos de recuperación, según los productos obtenidos a partir de cada uno de ellos:

- i. *Reuso:* recuperación del propio producto plástico.
- ii. *Reciclado mecánico:* recuperación de material plástico de menor valor.
- iii. *Valorización energética:* recuperación de energía en forma de calor.
- iv. *Recuperación química:* recuperación de sustancias químicas sencillas.

i. *Reuso:* Reusar un producto consiste sencillamente en darle nuevamente utilidad, previo acondicionamiento del mismo. Un ejemplo típico es el de los sistemas de retorno de envases, los cuales, sometidos a un lavado minucioso son posteriormente reutilizados.

Sin embargo, su mayor limitación radica en el número máximo de ciclos de reuso a los que puede ser sometido un producto,

ya que en cada uno de ellos, el material que lo constituye sufre un proceso de degradación.

ii. *Reciclado mecánico*: El reciclado mecánico consiste en el reprocesamiento de los residuos plásticos para la obtención de material plástico de menor valor. La calidad del material obtenido depende del residuo reprocesado. En el siguiente diagrama se representan las diferentes opciones de reciclado mecánico:

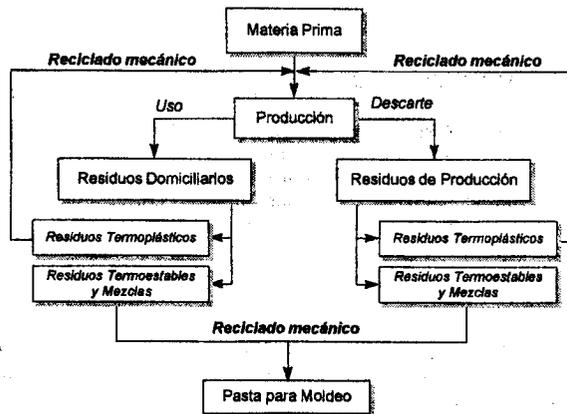


Figura 1
Esquema básico del reciclado mecánico

El proceso básico de reciclado mecánico consiste en la selección de los residuos plásticos que serán reprocesados, en su trituración y posterior lavado, y finalmente en su transformación en materia prima.

Según se representó en el diagrama, tanto en el caso de residuos termoplásticos provenientes del descarte de producción como en los que provienen de la selección de residuos domiciliarios, las operaciones antes mencionadas se aplican con el objeto de reconstruir la materia prima original, aunque con una cierta degradación, función del número de ciclos de reciclado sufridos.

Por otra parte, en el caso de residuos plásticos termoestables o en el de residuos plásticos mixtos, también se aplican dichas operaciones aunque el producto obtenido es una pasta para moldeo de gran resistencia, utilizada como sustituto de otros materiales tales como la madera, el hormigón, etc.

iii. *Valoración energética*: La valoración energética consiste en aprovechar el alto poder calorífico de los residuos plásticos, recuperando su energía a través de su incineración en hornos especialmente diseñados a tal fin.

En razón del alto poder calorífico de los materiales plásticos más comúnmente encontrados en los residuos domésticos, el aprovechamiento de calor puede resultar muy conveniente, según queda demostrado a través de los siguientes valores:

Polietileno.....	46000 kJ/kg	Fuel Oil.....	44000 kJ/kg	Gas natural.....	48000 kJ/kg
Polipropileno.....	44000 kJ/kg	Papel.....	16800 kJ/kg	Madera.....	16000 kJ/kg

Sin embargo, debe tenerse en cuenta la eliminación durante el proceso de incineración de sustancias tóxicas, los efectos del dióxido de carbono emitido (efecto invernadero), y finalmente, la necesidad de disponer los residuos sólidos generados.

iv. *Recuperación química*: La recuperación química de los residuos plásticos implica su descomposición química con el objeto de reducirlos a sustancias más sencillas, utilizables como materias primas en procesos petroquímicos. A continuación se describen algunos de los principales procesos de recuperación química:

Hidrogenación: La hidrogenación se aplica a mezclas limpias de residuos plásticos, llevándose a cabo a una temperatura de 450 a 500°C y una presión parcial de 150 a 400 bar. En estas condiciones, las moléculas se craquean o rompen, formando compuestos hidrogenados que son separados y recuperados como crudo sintético o gas, dependiendo de las condiciones del proceso, y quedando un residuo sólido que se destina a relleno sanitario.

Gasificación: Este proceso se aplica a mezclas de residuos plásticos, aún si estuvieran contaminadas. A través del mismo, el material plástico se calienta con aire, u oxígeno, a 800°C y una presión de 0 a 60 bar, obteniéndose gas de síntesis compuesto por monóxido de carbono e hidrógeno. El valor energético de los productos obtenidos por gasificación es superior a la energía recuperada por incineración.

Pirólisis: La pirólisis es un proceso a través del cual las moléculas se descomponen en ausencia de oxígeno, a una temperatura de 500 a 1000°C, dando lugar a la producción de un gas de pirólisis, a partir del cual se pueden obtener una mezcla de gases (metano, etano, etileno, propileno, butadieno), gasolina ligera, alquitrán y hollín. Estos productos pueden tener diversas aplicaciones: calefacción (metano, etano), fabricación de polipropileno (propileno), de polietileno (etileno), caucho sintético (butadieno), pigmentos (hollín), etc. Dado que todos los gases generados pueden ser recuperados, el proceso resulta particularmente favorable al medio ambiente. La pirólisis, al igual que la gasificación, también se aplica a mezcla de residuos plásticos, pudiendo en este caso contener hasta un 20% de impurezas. También en este caso, el valor energético de los productos obtenidos por pirólisis es superior a la energía recuperada por incineración.

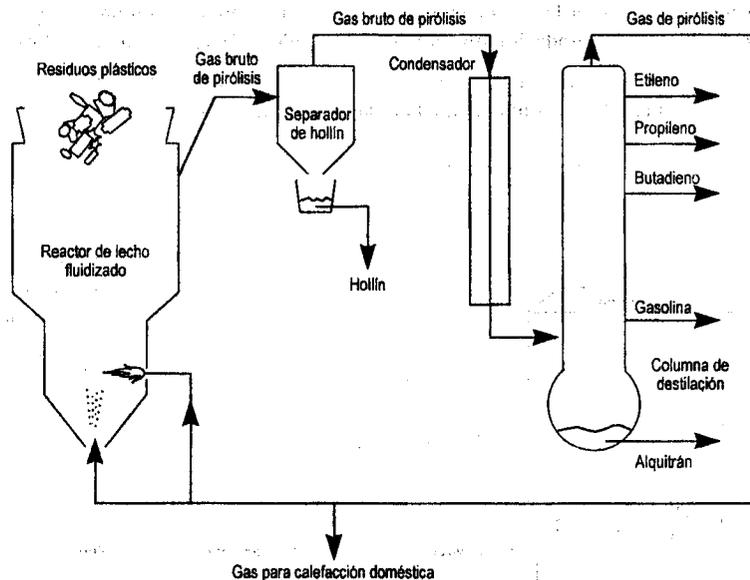


Figura 2
Esquema básico de un proceso de pirólisis

EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES OPCIONES DE GESTIÓN

Para la evaluación de las diferentes opciones de gestión de los residuos plásticos desde el punto de vista energético y ambiental (tabla 1), se han considerado las siguientes variables:

Circuito de Materiales: a través de esta variable se evalúa la capacidad del proceso de gestión de recuperar los materiales originales (en este caso el plástico) a partir de los desechos, considerando no sólo la cantidad sino la calidad del material obtenido. Se ha asignado el máximo puntaje (5) al proceso de gestión que presenta la capacidad máxima y el mínimo (0) al proceso incapaz de recuperar el material plástico original, estableciéndose los valores restantes de manera comparativa.

Aplicabilidad: en este caso se considera el potencial uso de los productos resultantes del proceso de gestión analizado, teniendo en cuenta su facilidad de aplicación. Se ha asignado el máximo puntaje (5) al proceso de gestión cuyos productos tienen la mayor aplicabilidad y el mínimo (0) al proceso cuyos productos no tienen aplicación alguna, estableciéndose los valores restantes de manera comparativa.

Aprovechamiento Energético: a través de esta variable se considera la capacidad de aprovechar la energía contenida en los residuos plásticos mediante el proceso de gestión considerado. Se ha asignado el máximo puntaje (5) al proceso de gestión con el mayor aprovechamiento energético y el mínimo (0) al proceso con recuperación energética nula, estableciéndose los valores restantes de manera comparativa.

Impacto Ambiental: en este caso se evalúan los efectos desfavorables que el proceso de gestión analizado tiene sobre el ambiente, considerando los productos obtenidos en cada caso. Se ha asignado el máximo puntaje (5) al proceso de gestión que produce los efectos menos desfavorables y el mínimo (0) al de efectos más desfavorable sobre el ambiente, estableciéndose los valores restantes de manera comparativa.

Tabla 1. Evaluación de los Diferentes Métodos de Gestión

Métodos de Gestión		Circuito de Materiales	Aplicabilidad	Aprovechamiento Energético	Impacto Ambiental	Total
Reuso		5	5	0	4	14
Disposición Final		0	2	0	4	6
Reciclado Mecánico	Termoplásticos limpios	4	4	0	4	12
	Mezclas	0	2	0	4	6
Recuperación Química	Hidrogenación	0	2	3	3	8
	Gasificación	0	3	0	4	7
	Pirólisis	0	4	3	4	11
Valoración Energética		0	4	5	1	10

CONCLUSIONES

A partir de la evaluación propuesta de los métodos de gestión, el interés de los mismos desde el punto de vista del aprovechamiento de materia y energía, considerando sus efectos sobre el medio ambiente, puede ordenarse de la siguiente forma:

- 1º) Reuso
- 2º) Pirólisis
- 3º) Hidrogenación
- 4º) Reciclado Mecánico de Mezclas
- 4º) Reciclado Mecánico de Termoplásticos
- 5º) Valoración Energética
- 6º) Gasificación
- 7º) Disposición Final

Si bien las dos primeras opciones resultan ser las más convenientes, su aplicación se ve limitada, según ya se ha explicado, a un número máximo de ciclos debido a la degradación que el material tratado sufre en cada uno de ellos.

De esta forma, el método de evaluación propuesto revela que el proceso de recuperación química a través de la pirólisis (figura 3) resulta ser la alternativa integral más conveniente para la gestión de residuos plásticos.

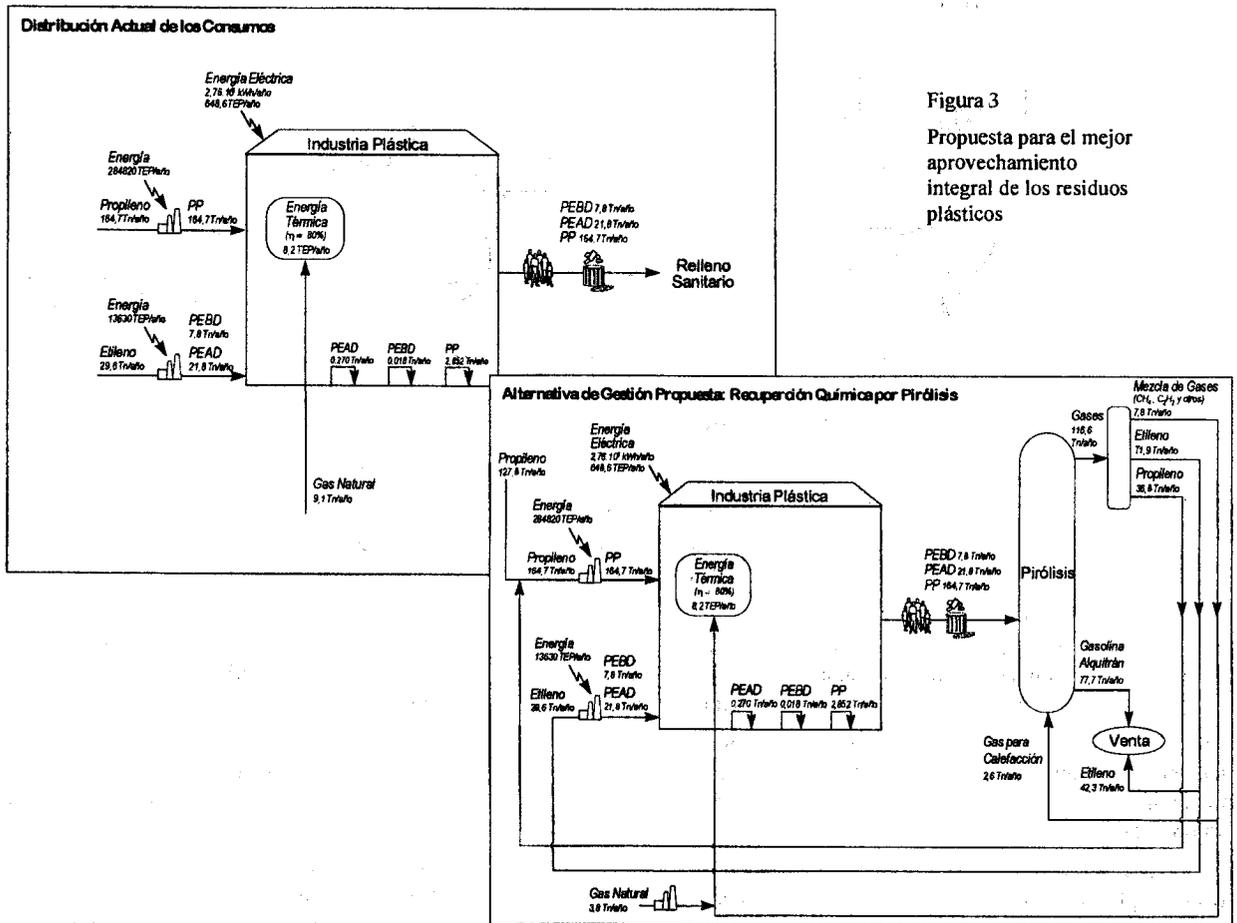


Figura 3
Propuesta para el mejor aprovechamiento integral de los residuos plásticos

Actualmente, países como Japón, China y Alemania han implementado la recuperación de residuos plásticos mediante la pirólisis. Sin embargo, en la República Argentina no se ha podido detectar la implementación de este método de gestión a ninguna escala, ni aún a nivel prototipo, desconociéndose además la existencia de otros trabajos de investigación al respecto.

Por esta razón, se considera necesaria la participación gubernamental, quien debería iniciar acciones tendientes a incentivar la investigación y desarrollo de este tipo de tecnología, involucrando en la medida de lo posible al sector industrial, mediante la elaboración de programas de financiamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- *Bases del Reciclado de Plástico*. Seminario Internacional 1995: Métodos Modernos de Reciclaje en la Industria del Plástico y el Sector del Envase, Octubre 1995
- *Análisis Integrado de la Demanda Energética e Impacto Medioambiental en el País Vasco*. Bilbao, 1992
- *Umwelttechnik Aus Der Schweiz*. Verein Schweizerischer Maschinen-Industrieller, 1990
- *Polímeros, Estructura, Propiedades y Aplicaciones*. Dr. Ernesto Ureta. Editorial Limusa, S. A. de C.V. Grupo Noriega Editores, 1994
- *Higiene y Seguridad en el Trabajo*. Ley 19587, Decreto 351/79
- *Japan Pictorial, el Desafío del Reciclaje*. Vol. 18 N°3, 1995
- *Economies D'energie Lors de la Transformation des Plastiques*, Collection Economies D'Énergie, 1981
- *Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 1994
- *Estudo de Impacto Ambiental*, Luis Roberto Tommasi, 1994
- *Residuos Sólidos Industriais*, Eng. Alfredo Carlos C. Rocca, Eng. Angela Maria M.B. Iacovone, y otros, 1992.
- *Ecología Industrial*. Mariano Seoanez Calvo. Coedición Ediciones Mundiprensa.
- *Medio Ambiente y Reciclado*. Claire Brown, Caroline Van Rennes EEWC (European Energy From Waste Coalition). Coalición Europea de Energía Recuperada de Residuos.

MODELIZACIÓN DE LAS REDES DEL TERCIARIO EN SUS DIMENSIONES EDILICIAS, ENERGÉTICAS Y PRODUCTIVAS. DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DE PERFILES CARACTERÍSTICOS DE COMPORTAMIENTO DE LOS SECTORES SALUD Y EDUCACIÓN

Carlos A. Discoli*, Gustavo San Juan*

Instituto de Estudios del Hábitat, IDEHAB, U.I. N° 2, FAU, UNLP.
Calle 47 N° 162. CC 478 (1900) La Plata.
Tel-fax: 021-214705. E-mail: discoli@rocketmail.com

RESUMEN

El trabajo muestra resultados obtenidos a través de metodologías y sistemas que permiten conocer y modelizar las variables relevantes de las redes edilicias del sector terciario. Dada la complejidad y diversidad del universo de análisis, se han construido índices y perfiles de caracterización de cada subsector, con el objeto de integrar la información a escala global y generar escenarios que nos permitan conocer el estado real de cada red e inferir, en una segunda etapa, su comportamiento en función de una distribución ecuánime de recursos de acuerdo a la estrategia adoptada. Para el caso del comportamiento energético -diagnosticar con técnicas de Control Temprano- el potencial de ahorro posible para cada red.

INTRODUCCIÓN

Nuestro grupo de investigación está trabajando desde hace una década en identificar y comprender las interacciones en los procesos de gestión urbana y regional. Se han desarrollado proyectos como FIGUR, "Programa informatizado de Gestión Urbana -Regional (1), y Metodologías de control y diagnóstico temprano -aplicadas a las redes del terciario, en particular las de Salud (2) y Educación (3)- las cuales han posibilitado estudiar las particularidades de cada una y de sus escalas (complejidad de cada nodo). El trabajo presenta resultados gráfico-numéricos que integran y tipifican las interacciones de cada subsector, permitiendo modelizar y comparar el comportamiento de cada red a escala global, para las variables relacionadas a la edificación, la energía y la producción de servicios. El marco teórico en el que se han desenvuelto los proyectos y este trabajo requiere precisar algunos términos como:

La gestión la hemos considerado en su término más amplio y la definimos como la interrelación estructural de las macrovariables significativas de oferta, demanda y dinámica de cada actividad, puntualizando sobre la relación hábitat-producción de servicios-energía. Las variables estructurales tipifican globalmente los procesos de cada subsector y dentro de éstas hemos considerado críticas a las que ponen en riesgo la calidad y eficiencia del servicio. En particular nos referimos a las territoriales-regionales-climáticas, energéticas, de diseño y producción edilicia, sociales, de producción de servicios y económicas. La identificación de patrones de comportamiento, nos permite inferir procesos y modelizar estrategias.

Las unidades de análisis estudiadas han sido por un lado, las redes de servicios y las consideramos "como concepto y no como objeto, idea que emerge de la historia reciente y se refiere a una nueva organización del espacio. Ella traduce bien cierto tipo de relaciones espacio-tiempo-información-territorio, características de las sociedades modernas" (G. Dupuy, 1991). También somos conscientes que "la creciente masa de información y el tratamiento estadístico existente no dan cuenta de sus movimientos sobre el territorio, trasladándose a través de las infinitas redes y circuitos, tradicionales o innovadores, materiales o inmateriales, planeados o espontáneos, permanentes o periódicos, de larga o corta duración, con contenido técnico-económico y técnico-informacional que se ligan o comunican en forma más o menos intensa en los diferentes lugares, redes y circuitos que deberán ser contemplados convenientemente para un desarrollo eficaz de la gestión" (M. Carneiro, R. Mattos, V. Narducci 1996); y por el otro, los edificios que actúan como nodos de las redes, considerando los prototípicos de cada subsector. En el ámbito estatal, para determinados subsectores, se considera que componen un sistema en la medida que son parte integrante de una política o línea programática y responden a objetivos comunes (J. Katz).

La implementación de las metodologías desarrolladas y la puesta en marcha de sistemas informatizados, tales como, SALUD versión β , para el subsector de servicios homónimo, posibilitó transferir la experiencia acumulada al subsector educación y desarrollar EDUBA versión β . Se analizaron e incorporaron las particularidades de cada campo experimental, observando las diferencias estructurales, relacionadas a: el funcionamiento continuo-discontinuo; a la estructura edilicia de alta y baja complejidad; al requerimiento de alta, media y baja densidad energética y a las prestaciones de servicios de cada red.

Los universos a analizar son numéricamente asimétricos. En el caso de la red de Salud, se cuenta con pocos establecimientos complejos de características ergo-intensivas; mientras que en el caso Educación, se cuenta con numerosos establecimientos de mediana y baja densidad energética. Si analizamos ambos sectores, en los términos considerados, el consumo de energía es relevante, implicando en su conjunto demandas energéticas importantes a nivel regional del orden del 50% del consumo del sector terciario (cálculo realizado para el área piloto del Gran La Plata. Ver tabla 1). En consecuencia, conocer y cuantificar el comportamiento energético en relación a la edificación y la producción de servicios de ambos sub-sectores, nos

* Investigador CONICET.

permite inferir que existe un importante yacimiento potencial de ahorro al que se le podría implementar medidas de URE. La Tabla 1 muestra indicadores globales que referencian lo expresado en estos dos subsectores.

TABLA 1	N° Esta.	N° Habit. / Esta.	m ² / Cama- Banco	m ² / Esta.	Area Constr. (m ²)	Consumo (Kwh/m ² año)	Consumo medio por Esta. (Kwh/año)	Energía Consumida en el Area Piloto (Kwh/año)
Salud (agudos) (*)	70	9499	79	5205	364350	231	1205508	84.385.620
Educación (I, EGB, Pol) (*)	503	1321	2,3	763	383789	70	53452	26886160
TOTAL de energía ambos sectores (Area piloto)								111271780
TOTAL de energía del sector terciario (Area piloto)								218486000

(*) Consideramos establecimientos estatales y privados significativos, de La Plata, Berisso y Ensenada.1995

FORMULACIÓN Y COMPARACIÓN DE PERFILES CARACTERÍSTICOS

Modelizar las redes complejas del terciario implica, por un lado conocer y precisar el comportamiento de: las variables estructurales; su interrelación; definir patrones de comportamiento; detectar y cuantificar distorsiones, con el objeto de formular diagnósticos (G.San Juan, C.A.Discoli y J.Tesler²) y por el otro, posibilitar la generación de escenarios de intervención.

La implementación de diferentes técnicas, entre ellas la estadística determinística, nos permitió definir grados de correlación y curvas representativas de comportamiento, que oficial de estándares para la red y sus diferentes escalas. Se está trabajando en un área piloto acotada, el Gran La Plata, correspondiente a la Región I, Distritos La Plata, Berisso, Ensenada, del subsector Educación y Región Sanitaria XI del subsector Salud. La obtención de patrones ha posibilitado desarrollar y construir modelos alternativos de simple capa, aplicando lógica difusa, orientados a obtener la demanda energética, complementando así la modelización de redes (C.A.Discoli y F.Romero⁶ ?).

La figura 1 muestra como ejemplo una interacción de dos variables, presentando el grado de correlación, la curva STD real característica y la nube de puntos (nodos-establecimientos) intervinientes. El grado de distanciamiento de cada nodo con la curva, visualiza el grado de distorsión existente entre el mismo y su estándares. Esta mecánica permite detectar, cuantificar numérica y gráficamente el grado de dispersión que sufren los diferentes establecimientos constituyentes de la red, para cada variable analizada.

Luego de un proceso de concentración de variables y dimensiones y de integración de curvas, se construyen los diagramas de múltiples entradas y salidas (perfiles característicos). Los mismos permiten visualizar la dinámica de la red según patrones estándares. La formulación de diagramas de las diferentes redes posibilitan definir el peso de sus variables estructurales. Estos perfiles característicos globales pueden segmentarse según:

- i. el nivel de complejidad (niveles educativos: inicial, EGB, polimodal, etc.; y niveles de prestación sanitaria según tipo de servicio: complejidad I a X para agudos, crónico o mixtos);
- ii. por su tecnología constructiva (considerando las de mayor predominancia principalmente en educación);
- iii. por su producción edilicia tipológica;
- iv. por el tipo de uso del servicio (continuo o discontinuo).
- v. por su clasificación según el tamaño, proporcionalidad entre variables afectadas.

La producción histórica de perfiles característicos, analizando ciclos anuales y/o períodos de gestión

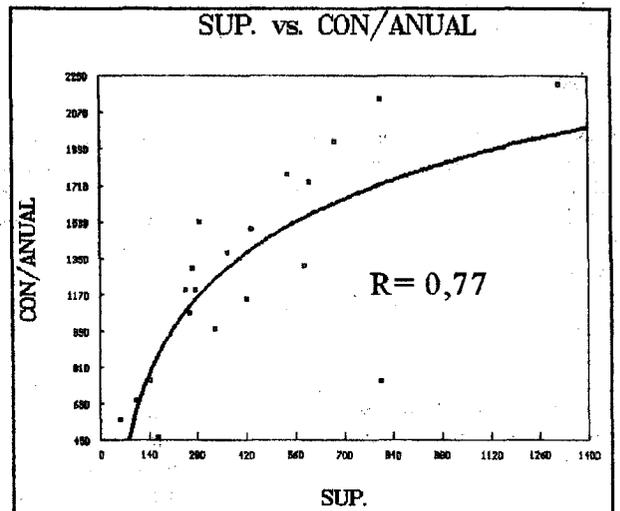


Figura 1: Correlación logarítmica. Superficie vs. Consumo de Gas anual Preescolar. Subsector Educación.

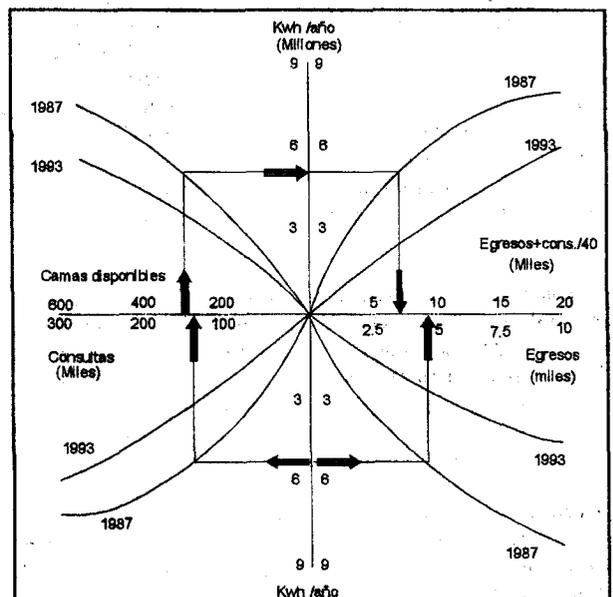


Figura 2: Energía anual Vs. Producción. Subsector Salud.

institucional, nos permite observar modificaciones en los comportamientos de determinadas variables en función de los diferentes escenarios. La *figura 2* muestra los cambios producidos en el consumo de energía vs. producción, relacionados con las políticas de privatización llevadas adelante en esta década, en donde la edificación de origen estatal comienza a hacerse cargo en tiempo y forma del pago de sus insumos, lo que evidencia una disminución significativa de los mismos, registrada en la pendiente de las curvas.

La combinación apropiada de variables nos permite construir diagramas temáticos y compararlos con estándares nacionales, internacionales e inter redes. Como ejemplo se muestran perfiles de ambas redes, los que relacionan variables equivalentes y comparables tales como superficies, consumo energético, producción y personal.

Para la red de salud, la *figura 3* muestra e integra el comportamiento hospitalario de agudos relacionando la complejidad del establecimiento en función del número de camas, la superficie edilicia, el consumo, la cantidad de servicios médicos y las horas de prestaciones de consultorios externos e internación. Este diagrama en su conjunto muestra una radiografía síntesis del comportamiento global real de las variables estructurales de la red hospitalaria. En el caso de anteproyectos, nos permite predimensionar la capacidad operativa de un establecimiento, la superficie necesaria y la demanda energética contratable en función de los requerimientos (por ejemplo camas). La *figura 4*, muestra en forma global y desagregada la relación entre el personal, las camas, la producción y el gasto. Se puede observar la demanda de personal/cama de los distintos establecimientos de agudos discriminados por categoría.

La *figura 5* relaciona en forma global para una red de nivel preescolar sus variables estructurales: matrícula, superficie cubierta, docentes y energía, discriminada según consumo de energía eléctrica y gas natural. Dicha información deberá ser contrastada con la situación actual después de la aplicación de la Ley Federal de Educación (sancionada en 1993) y en lo concerniente a la supuesta mejora de las condiciones cuali-cuantitativas derivado de las obras edilicias realizadas. Esto ha producido no sólo una redistribución de la matrícula en cada uno de los niveles sino el cambio de la capacidad instalada de la red, influyendo sobre el consumo energético. La *figura 6* relaciona indicadores de uso corriente como es la relación entre superficies: terreno libre, cubierta total y aulas, definiendo el grado de disponibilidad de cada establecimiento según el factor de ocupación de superficie y la proporción entre espacio áulico y otras dependencias. En este caso, la relación entre las dos variables tuvo que ser clasificada según diferentes grados de proporcionalidad ($Sup.libre > sup.cubierta = 1:1; 1:2; 1:3$ y $Sup.libre < sup.cub = 1:2; 1:4$) con el fin de ordenar universos muy disímiles. Debemos recordar que esta variable ha dependido del mercado inmobiliario, la disponibilidad y la demanda. La *figura 7* particulariza la variable energética destinada a calefacción, en relación a la matrícula y a la superficie abastecida. El cálculo de estimación del consumo se modelizó teniendo en cuenta la constitución real de los establecimientos. En cuanto

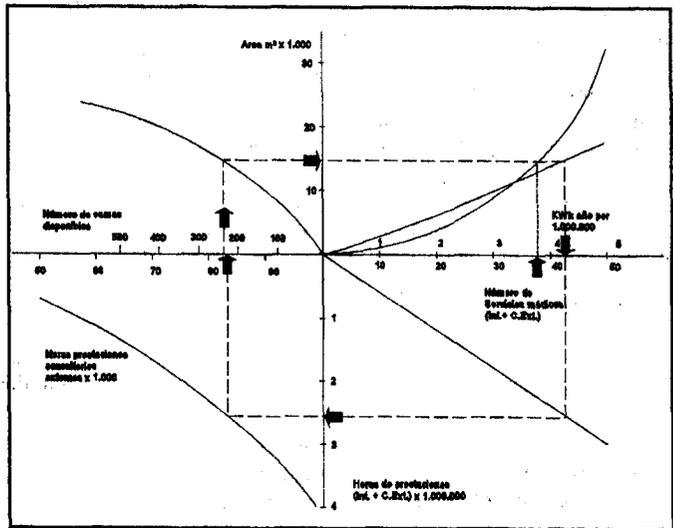


Figura 3 Comportamiento Global de variables estructurales. Subsector Salud.

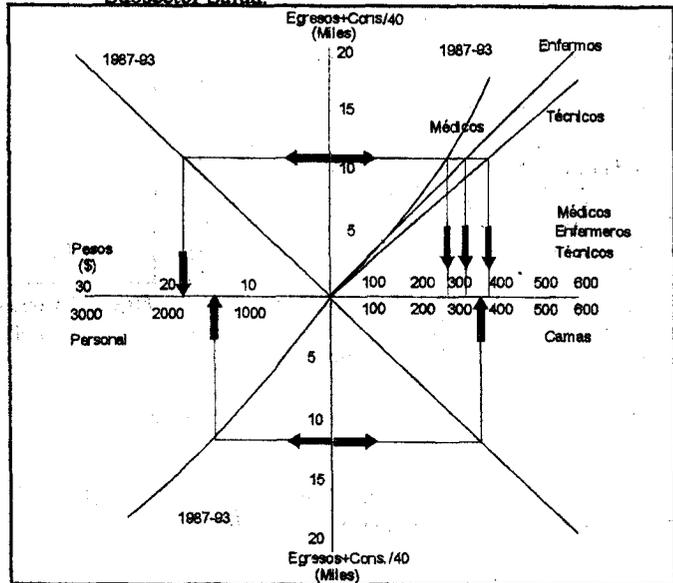


Figura 4 Personal y Costos Vs. Producción. Subsector Salud

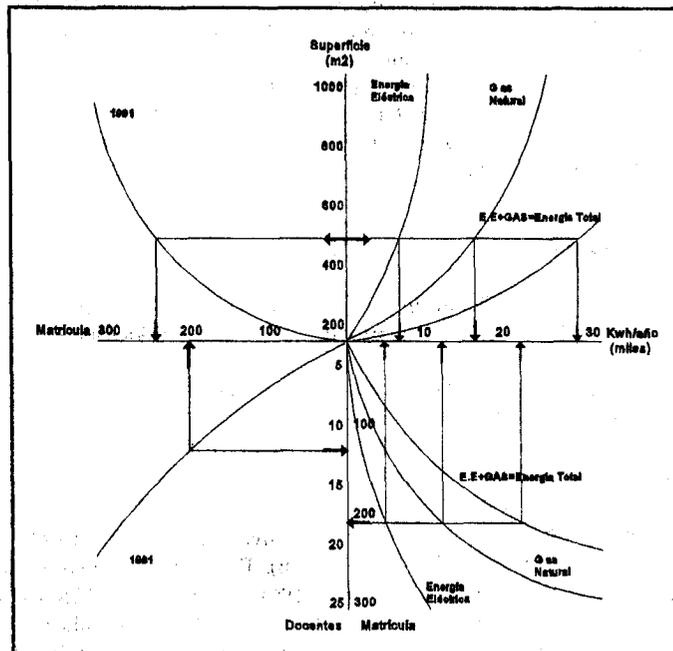


Figura 5 Comportamiento global de variables estructurales. Subsector Educación.

a la relación superficie/matricula véase, en referencia con los estándares admisibles (según normativa vigente del MCEN) correspondiente al nivel preescolar con sup.cub > a 216m² (3,00m²/alumno), donde se desprende que por ejemplo para el caso de la media muestral según la superficie (431m²), el valor es de 1,3m²/al, un 56% por debajo del valor admisible. Al respecto se está trabajando en la definición de metodología y cuantificación de consumos energéticos reales teóricos y optimizados para compararlos con la situación estándar.

CONCLUSIONES

Los dos subsectores expuestos definen territorialmente demandas energéticas de densidad dispar. Si bien el área construida es similar, el número de escuelas -en la zona de estudio (Gran La Plata)- supera al de hospitales, en más de siete veces, siendo la energía consumida en el segundo subsector tres veces mayor. Esta situación, marca en el primer caso una mayor distribución y define en el segundo una gran concentración. Si consideramos estos aspectos para el resto de los sectores, se podría confeccionar un mapa de densidad energética a escala regional, permitiendo así advertir y visualizar grandes descompensaciones. La obtención de información calificada, la modelización y generación de diagnósticos nos orienta en la implementación de pautas de diseño ambientalmente conciente (DAC) que repercutan en el URE con el consecuente yacimiento potencial de ahorro energético.

La modelización de campos experimentales complejos, como es el caso de las Redes del terciario, nos ha permitido contar con:

- Una sistematización de la información que permite seleccionar y concentrar variables relevantes y sus dimensiones, para la formulación de indicadores. Los mismos cualifican y cuantifican las características de cada red destacando los valores macro como los de la tabla 1;
- La identificación de interacciones entre variables estructurales y/o críticas a través de funciones determinísticas que caracterizan con curvas el comportamiento en sus diferentes escalas;
- Una integración de curvas de comportamiento (Perfiles de red) que sintetizan la dinámica de la red;
- Un proceso recursivo y de retroalimentación de las entradas y salidas de los datos, brindando información de base para modelos complementarios aplicando lógica borrosa;
- La posibilidad de generar diagnósticos acertados;
- La posibilidad de formular escenarios, determinar comportamientos y redistribuir eficazmente los recursos críticos, apuntando en este ámbito, a un uso racional de la energía (URE) y a la detección de yacimientos potenciales de ahorro significativos (YPA).

REFERENCIAS

1. FIGUR, Programa Informatizado de Gestión Urbana y regional. PID-BID, N°1.102, CONICET. 1997.
2. Diagnóstico temprano y control de la gestión energético-productiva del hábitat en las redes del sector terciario. Proyecto CONICET.
3. Evaluación de redes edilicias de educación. Variables energo-productivas y de habitabilidad, en el hábitat bonaerense. proyecto CONICET.
4. J. Katz. (1993) *El sector salud en la república argentina: Su estructura y comportamiento*. Fondo de Cultura Económica/Serie de Economía, Buenos Aires.
5. Gustavo San Juan, Carlos Discoli, Julio Tesler. (1996). Diagnóstico temprano de redes complejas de servicios: el caso educación. 19ª Reunión de ASADES, Universidad Nacional de Mar del Plata. Tomo I. 605-608.
6. Carlos Discoli, Fernando Romero. (1996). Desarrollo metodológico aplicando control borroso a las bases de datos del sector terciario, subsector salud. Actas de la 19ª Reunión de ASADES, Universidad Nacional de Mar del Plata. Tomo I, 621-624.
7. Carlos Discoli, Fernando Romero. (1997). Control borroso aplicado a las bases de datos del sector terciario. Primer modelo simple capa para el subsector salud. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 1 n° 2, 129-132.

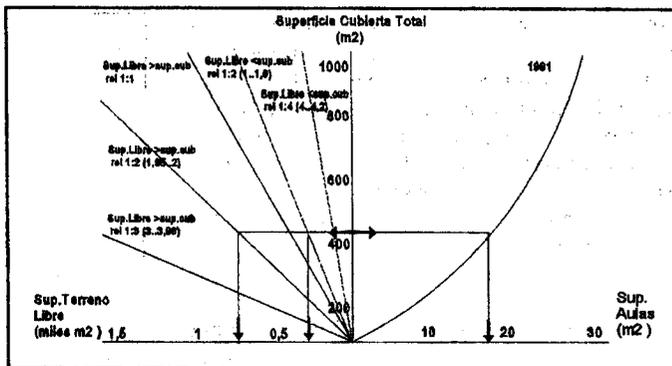


Figura 6 Indicadores de superficie. Subsector Educación.

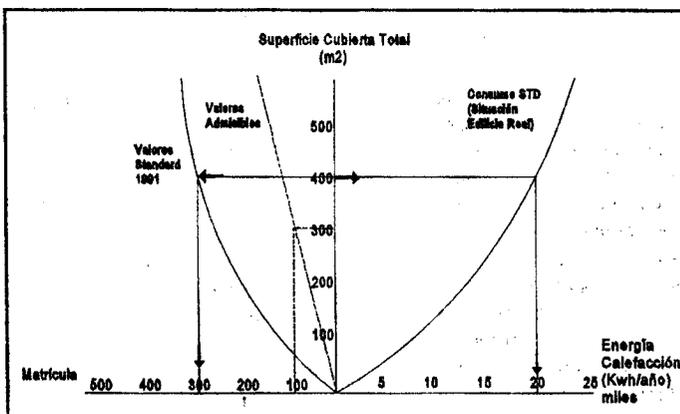


Figura 7 Comportamiento particular. Matricula, superficie, consumo de calefacción. Sector Educación.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. DESARROLLO DE MATRICES DE ANALISIS Y CONSTRUCCION DE INDICADORES DE EVALUACION

Carlos A. Discoli*

Instituto de Estudios del Hábitat, IDEHAB, U.I. N° 2, FAU, UNLP.
Calle 47 N° 162. CC 478 (1900) La Plata.
Tel-fax: 021-214705. E-mail: erosenfe@isis.unlp.edu.ar

RESUMEN

El trabajo desarrolla una temática que, en el marco de la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y desarrollo (Río '92), se hace ineludible en los emprendimientos edilicio-energéticos. Se busca desarrollar una metodología sencilla de impacto ambiental (EIA), que permita analizar de manera rápida y convergente las principales variables. La integración de la misma a los sistemas de control y diagnóstico temprano de las redes edilicias del terciario, nos permite cualificar y cuantificar como impactarían las grandes intervenciones en el ambiente a nivel local y regional. Se trabaja sobre diferentes técnicas, las cuales se han integrado convenientemente en matrices de decisión. Se construyeron diferentes niveles de indicadores.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de metodología de impacto ambiental, orientada a la relación "hábitat - energía" intenta generar conocimiento sobre la interacción de ambos campos, entendiendo al primero en su dimensión natural y artificial, visualizando así acciones que tiendan a la racionalización y sustentabilidad conjunta. La ejecución de emprendimientos nuevos o de reciclaje, relacionados a la edificación y su habitabilidad, y el impacto de los flujos energéticos intervinientes, llevan a la necesidad de generar buenos diagnósticos y formalizar posibles escenarios alternativos. Si analizamos bibliografía tanto en el ámbito nacional como internacional, se plantea la conveniencia de elaborar metodologías que permitan generar diagnósticos acertados para la adopción de decisiones. Entre ellas podemos citar:

Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río '92, donde se aprobó la Agenda XXI, en el marco de incorporar el desarrollo sustentable a escala mundial. En la II^a. Sección, capítulo 9 (Protección de la atmósfera), plantea el desarrollo, eficiencia y consumo de la energía como un tema prioritario, destacando la necesidad de *elaborar metodologías apropiadas para la realización acertada de diagnósticos, evaluación y adopción de decisiones, replantear escenarios alternativos y reformular políticas energéticas.*

Organizaciones No Gubernamentales como Tierra Alerta. Dentro de su agenda de preocupaciones figuran temas ligados al consumo energético, tipo y forma de consumo, emisiones consecuentes, etc.

En este contexto, es que se busca desarrollar una metodología sencilla de impacto ambiental (EIA), que permita analizar de manera rápida y convergente las principales variables. La integración de la misma a los sistemas de control y diagnóstico temprano de las redes edilicias del terciario (C. Discoli et al 1993¹), nos permite cualificar y cuantificar como impactarían las grandes intervenciones en el ambiente a nivel local y regional.

Los primeros antecedentes de esta temática se remontan al año 1969, en EEUU, donde instituciones como la National Environmental Police Activity (NEPA), han establecido pautas sistemáticas orientadas a la actividad privada y gubernamental. En el tiempo se han ido introduciendo y precisando en diferentes países metodologías y protocolos de trabajo (P. Morris; R. Therivel²) y (J. Glasson, et al³) en función de las necesidades y problemáticas presentadas. Hoy día existen diferentes técnicas de EIA de las cuales podemos mencionar: Check list; Listados con umbral temporal; Matrices de datos; Matrices de signos; Mapas temáticos; Método de Batelle; Método de Holling; etc.. Del análisis de los diferentes métodos, y en función de la necesidad de obtener diagnósticos en tiempo corto, cuantificables e integrados a una metodología de control y gestión como la mencionada, se ha optado por reorientar alguna de estas técnicas, que por si solas son limitadas y específicas, las cuales han sido adaptadas convenientemente, desarrollando así nuevas matrices de decisión. En ellas intervienen los elementos naturales, las acciones previstas, la importancia de las mismas y si actúan positiva o negativamente, acotando así el encuadre y las delimitaciones del problema. Se construyeron diferentes niveles de indicadores que permiten sintetizar la información de las filas, de las columnas y del conjunto, advirtiendo el signo y peso de la intervención. Los mismos forman parte de la instancia de predicción, y están orientados a generar una evaluación y comunicación cualitativa y cuantitativa.

MATRICES DE DECISIÓN

En función de las variables mencionadas se han generado dos matrices de datos, en las que intervienen los *componentes naturales y artificiales* principales y las *acciones* prevista en el emprendimiento. Esta identificación de filas y columnas, correspondiente a la 1er. matriz de datos, es típica de los análisis cualitativos y semicuantitativos como los desarrollados por ejemplo por Leopold (J. Glasson, et al³). En la misma se cuantifica subjetivamente la **magnitud** del impacto de una acción (columnas) sobre cada componente (filas) y la **significancia** del mismo en el caso que se produjese. Cada intersección se analiza bajo estos dos aspectos, considerando en la valoración una calificación de 0 a 10. De esta manera se genera un mapeo de intersecciones con rangos de impacto. Con el objeto de enriquecer la metodología de análisis, ya que este tipo de matrices no avanza más allá de lo descripto, se le ha incorporado a la misma una matriz de signos, identificando los hechos positivos y/o negativos para cada caso y cada cruce de variables (acciones y elementos).

* Investigador CONICET.

Con el objeto de precisar la cuantificación, se ha generado la 2da. Matriz *de resultados*, replicando los elementos y las acciones, en la cual se concentra la información de **magnitud** y **significancia** en un único campo a través de un indicador artificial que los relaciona. El producto de las dos val oraciones conforman el **Índice 1** ($\pm I_1$), marcando el grado de participación que tiene cada intersección (**Acción-Elemento**) de la matriz. El resultado de cada campo varía entre ± 100 , donde la simple aparición de valores y los rangos elevados (cercanos a ± 100) identifican las situaciones de fuerte impacto. La expresión siguiente sintetiza a I_1 .

$$(\pm) I_1 = \text{Magnitud} \times \text{Importancia} = \pm(0 - 100)$$

Con el objeto de resaltar los eventos y elementos significativos con mayor posibilidad de cambios, se incorpora para cada fila y cada columna un segundo indicador (Índice 2) que incorpora el peso de la valoración y la frecuencia aparición de los eventos (acción-elementos) para los casos positivos y negativos. El **Índice 2** ($\pm I_2$) busca concentrar y resumir las intersecciones (**Acciones-Elementos**), relacionando al **Índice 1** ($\pm I_1$) con la frecuencia de intersecciones afectadas (n casos), dando peso a la cantidad de instancias (n) intervinientes con respecto a la cantidad total (N) considerada en el estudio de EIA (N de acciones y N de elementos en juego). Para este caso en particular se ha planteado una hipótesis de intervención que involucra 30 acciones y 28 elementos afectables. El (\pm) I_2 se elabora para cada fila y cada columna.

El (\pm) I_2 para cada fila, o sea se trabaja con cada elemento afectable en relación a las acciones que los afectarían, obteniendo resultados $\leq \pm 3.000$. La expresión de (\pm) I_2 referida a los elementos (las filas de la matriz, $N=30$) es:

$$(-) I_{2E} = \sum(-) I_1 \times n/30 \quad ; \quad (+) I_{2E} = \sum(+) I_1 \times n/30$$

El (\pm) I_2 para cada columna, se elabora considerando a las acción que afectarían a los elementos involucrados por separado (por columna), obteniendo valores $\leq \pm 2.800$. La expresión de (\pm) I_2 referida a las acciones (las columnas de la matriz, $N=28$) es:

$$(-) I_{2A} = \sum(-) I_1 \times n/28 \quad ; \quad (+) I_{2A} = \sum(+) I_1 \times n/28$$

La cantidad de casos es variable y dependiente de el peso que tiene esa acción-componente en función del número de veces que participa o se ve afectado, es decir más afectado y mayor frecuencia de aparición, en consecuencia más peso tiene.

Es claro que también debemos contar con un índice que resuma el conjunto y manifieste el tenor del impacto del emprendimiento propuesto. Para tal fin se construyó el **Índice 3** ($\pm I_3$), con el objeto de sintetizar el conjunto de variables, calculado a partir de la sumatoria de los (\pm) I_2 en relación a los elementos por un lado y en relación a las acciones por el otro. El resultado (\pm) para cada caso (fila o columna), permitiría evaluar globalmente el impacto del emprendimiento. Las expresiones de (\pm) I_3 son:

$$(\pm) I_{3E} = \sum(\pm) I_{2E} \quad ; \quad (\pm) I_{3A} = \sum(\pm) I_{2A}$$

La graficación por medio de diagramas de barras según los diferentes aspectos (naturales, culturales, etc.), o de superficies identificando valles, cúspides y discontinuidades, permitiría interpretar y detectar con mayor facilidad los acciones relevantes.

Es claro que para parte del sector analizado (nos referimos a los emprendimientos de infraestructura sanitaria, educacional, etc.) las instancias negativas se verían en apariencia sustancialmente minimizadas en función de la demanda del servicio social a prestar y el entorno en el cual se implantara o reciclara dicha infraestructura, correspondiendo en general a un espacio con intervenciones previas diversas. Pero con respecto a otros ámbitos del terciario, como el comercial por ejemplo, las valoraciones de cada variable, los pesos y los intereses serían muy diferentes, cobrando importancia algunas acciones con respecto a determinados componentes naturales y/o artificiales.

A los efectos de aplicar EIA con las alternativas planteadas, se presenta un ejemplo en dos matrices, la primera de datos (Matriz 1) y la segunda de resultados (Matriz 2), cuya hipótesis de trabajo plantea la localización de un establecimiento de salud energointensivo, en un área parcialmente urbanizada, en un predio que ha tenido intervenciones parciales. Es necesario recordar que la carga de la matriz se realiza en algunos aspectos objetivamente y en otros con relativa subjetividad (depende de la idoneidad del ejecutor), pudiendo así verse afectado alguno de los resultados parciales.

RESULTADOS

Si observamos los valores de I_1 , las zonas con densidad de cruces y rangos cercanos a ± 100 , marcan las variables relevantes para el estudio. Podemos mencionar entre ellas el uso de la tierra; los intereses estéticos y humanos; el estatus cultural; la infraestructura; el tratamiento de residuos y las emisiones de contaminantes producidas por la generación de energía demandada.

Si observamos los I_{2A} , aplicado a las acciones, existen predominancias (+) para el caso de modificación del hábitat; cobertura vegetal; drenajes; pavimentación; urbanización; caminos, todos ligados a la calidad de vida urbana relacionada a la infraestructura. También existen predominancias (-) en relación a la modificación de ese hábitat; como drenajes; pavimentación; eliminación de residuos y todo lo referido a emisión locales y regional de contaminantes relacionados al consumo intensivo de energía y deposición de partículas. Es claro que la duplicidad de ítems (+) y (-), como el caso de pavimentos y drenajes, se debe a que por un lado significa una mejora urbana, pero por el otro afecta a la permeabilidad de los suelos y a la concentración de pluviales. Para el caso de los I_{2E} , aplicado a los elementos, se ven afectados (-) el suelo; el agua; la calidad atmosférica; los espacios abiertos y la recreación. Se observan beneficiados (+) el uso del suelo; el sector residencial, comercial; la salud y seguridad; el empleo; el transporte y las redes utilitarias.

Si analizamos el valor de I_3 para las acciones y para los elementos, su balance es negativo, a pesar de el tipo de emprendimiento planteado. El rango máximo alcanzable para este índice es del orden de ± 90.000 (esto es $I_2 \times n$), mientras que el calculado para nuestro ejemplo es del orden de -2.600 , dejando inferir una magnitud de impacto menor a pesar del signo (-). Por otro lado podemos inferir que toda intervención de este tipo genera situaciones de impacto con un balance global en general negativo a pesar de tratarse de un emprendimiento comunitario, necesario y en muchos casos imprescindible. Debemos recordar que estamos involucrando la totalidad de los aspectos evitando así los análisis parcializados.

Podemos afirmar que el ejercicio planteado, en función de la hipótesis de intervención, cualifica y cuantifica los resultados con una aproximación aceptable, ya que resalta las situaciones más críticas y relevantes. En síntesis, podemos afirmar que el desarrollo de la metodología de EIA, integrada a la de diagnóstico, nos permite conocer y comprender la situación real, brindando elementos e información necesaria para la determinación de acciones, evaluando posibles repercusiones y minimizando los impactos.

MATRIZ 1 de DATOS (Magnitud / Significancia)	Modificación de Régimen 1. Modificación del hábitat 2. Alteración cobertura vegetal 3. Alteración de aguas subterráneas 4. Alteración drenajes 5. Canalizaciones 6. Ruido y vibraciones 7. Superficies pavimentadas							Transformación de la tierra y construcción 8. Urbanización 9 Autopistas y puente 10. caminos 11. Líneas transm. y ductos 12. Aeropuertos y helipuertos 13. Cortes y rellenados 14. Barrenado (piloteo)						Extracción de recursos 15. Excav. sup. 16. Relleno y extrac. de canteras Procesos 17. Gen. de energía 18. eliminación de residuos				Alteración de la tierra 19. Control de tránsito (playones) 20. Forestación y parquización 21. Relleno de pantanos y bañados				Cambios en el tráfico 22. Automóviles 23. Camiones 24. Tren 25. Comunicación y conductos					Trat. Emisiones y deposición de residuos 26. Emisión de poluentes 27. Descarga de efluentes líq. Contam. 28. Desechos Pat. 29. Desechos. 30. Derrame de combustibles				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Materiales de construcción	-8	-8	-	-	-	-	-	-6	-7	-7	-5	-6	-	-3	-8	-8	-	-	-	-	-	-7	-	-	-	-	-	-	-		
Suelos	3	3	-	-	-	-	-	3	4	4	3	8	-	6	3	3	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-		
Agua superficial	-6	-8	-	±5	±2	-	-	-7	-7	-7	-4	-3	-8	-6	-8	-8	-	-10	-	+8	+8	-	-	-	-	-	-	-	-		
Agua subterránea	2	3	-	3	2	-	8	5	5	5	2	8	10	9	5	3	-	10	-	7	3	-	-	-	-	-	-	-	-		
Calidad del agua	-4	-4	-	±7	+7	-	-8	-6	-8	-8	-	-	-8	-	-	-	-	-10	-	+7	-	-	-	-	-	-9	-100	-8	-8	-10	
Calidad atm. (emisiones)	2	2	-	6	6	-	8	5	5	5	-	-	10	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	8	8	-	-	4	
Deposiciones mat. par.	-6	-4	-8	-	-	-	-8	-8	-	-	-	-	-9	-	-	-	-	-10	-	-	-	-	-	-	-	-9	-9	-	-	-10	
Microfauna y flora	-7	-4	-7	-	-	-	-7	-6	-	-	-	-	-9	-	-	-	-	-10	-	-	-	-	-	-	-	8	8	-	-	4	
Fauna y flora	6	2	6	-	-	-	8	7	-	-	-	-	10	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	8	8	6	6	4	
Uso de la tierra	-8	-5	-	-	-	-	-8	-8	-	-	-	-3	-	-	-	-	-10	-9	-8	+8	-	-7	-7	-5	-	-9	-	-	-8	-6	
Espacios abiertos	6	2	-	-	-	-	-8	-	-	-	-	5	-	-	-	-	8	10	2	3	-	8	8	4	-	8	-	-	7	7	
Residencial	-6	-2	-	-	-	-	-8	-	-	-	-	-3	-	-	-	-	-10	-	-8	-	-	-7	-8	-6	-	-9	-	-	-	-	
Comercial	5	2	-	-	-	-	-8	-	-	-	-	4	-	-	-	-	8	-	2	-	-	8	8	4	-	8	-	-	-	-	
Recreación	-4	-10	-	-	-	-6	-8	-8	-	-	-	-8	-7	-	-	-	-8	-9	-	+7	+7	-	-	-	-	-9	-8	-	-	-6	
Paisaje	2	4	-	-	-	-	6	8	2	-	-	-	1	6	-	-	7	10	-	3	3	-	-	-	-	8	3	-	-	4	
Cal. espacios abiertos	-4	-10	-	-	-	-	-6	-8	-8	-	-	-8	-7	-	-	-	-8	-9	-	+7	-	-	-	-	-	-7	-	-	-	-	
Parques y reservas	2	4	-	-	-	-	6	8	2	-	-	-	1	6	-	-	7	10	-	3	3	-	-	-	-	8	-	-	-	-	
Espacios raros únicos	+8	+8	-	±8	+6	-5	+10	+10	+6	+7	-	-	+10	+8	+8	+8	-	+7	-	-	+8	-	-	-	-	-	-8	-8	-	-7	
Salud y seguridad	8	8	-	6	4	5	10	10	4	5	-	-	8	10	8	1	-	6	-	-	5	-	-	-	-	-	-	6	6	6	
Empleo	±6	-7	-	±5	+3	-	-9	-6	-8	-8	-7	-	-	-7	-7	-	-8	-10	-	+8	-	-	-	-7	-	-8	-	-	-8	-7	
Densidad poblacional	8	6	-	3	3	-	8	8	5	5	6	-	-	7	8	-	6	8	-	-	-	-	-	7	1	-	6	6	6	6	
Transporte	±8	+8	-8	±7	+7	-8	+10	+10	+7	+8	+7	-	+10	+8	-	-	+10	-8	-	+8	+8	-	-7	+6	-8	-8	-10	-10	-7	-7	
Prestación de servicios	9	7	8	7	8	7	8	10	6	7	6	-	10	10	-	-	9	10	-	8	7	-	7	8	9	7	9	9	6	±6	
Micro industrias	+8	+8	-6	±6	+7	-7	+10	+10	+8	+8	+8	-	+10	+8	-	-	+8	-8	-	+8	-	+5	-	+6	-	-6	-8	-10	-10	-7	
Redes utilitarias	10	7	4	7	8	6	10	10	6	7	7	-	10	10	-	-	9	10	-	7	-	-	10	8	8	7	9	9	6	6	
Disposición de residuos	±6	±6	-	±6	+5	-8	-8	+8	-8	-8	-2	-	+6	-	-	-	-10	-	+8	+7	-	-	-	-	-9	-8	-10	-10	-7		
Barreras Arq.	8	8	-	6	4	6	7	6	5	5	-	-	5	-	-	-	10	-	6	5	-	-	-	-	8	7	9	9	6		
Corredores	±7	±7	-	±6	+3	-8	-8	±7	-8	-7	-8	-	±6	-	-	-6	-6	-8	-10	-9	+10	+7	-	-	-9	-8	-6	-10	-10	-7	
	8	8	-	4	2	6	8	8	5	5	8	-	7	-	3	3	7	10	2	8	6	-	-	8	8	7	9	9	6	6	
	±6	±6	-	±7	+4	-8	-10	-8	-8	-7	-8	-	±6	-	-6	-6	-8	-10	-9	+10	+7	-	-	-9	-8	-6	-10	-10	-7		
	4	4	-	5	2	8	7	7	5	5	8	-	7	-	3	3	8	10	2	8	6	-	-	8	8	7	9	9	6		
	-	-	-	-	-	-10	-10	-	-	-	-8	-	-	-	-	-	-	-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-10	-10	-	-	-	-8	-	-	-	-	-	-	-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	+10	+10	-8	±8	+4	-8	+8	+9	+9	+10	-6	+10	-	-	-	-7	-10	-	-	+8	-7	-	-	-	-9	-10	-10	-10	-4		
	10	10	7	7	2	6	7	10	6	7	6	10	-	-	-	-5	10	-	-	6	6	-	-	-	8	9	10	10	3		
	+8	+8	+5	+5	+3	-	+7	+8	+6	+6	+4	+2	+7	+5	+6	+6	+8	+5	+4	+7	+5	-	+6	+4	-	-	-	-	-	-	
	10	10	2	2	2	-	5	10	6	6	2	4	2	7	7	7	9	2	2	4	2	-	3	3	-	-	-	-	-	-	
	+7	+8	-	±6	-6	+7	+10	+7	+8	+6	-	+6	-	-	-	-7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	5	5	1	4	1	4	6	10	6	7	7	-	5	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	+10	+4	-	±5	+7	-	+10	+9	+9	+10	-	+3	-	-	-	-	-	+8	-	-	-	-6	-7	-5	-	-4	-	-	-	-	
	10	4	-	5	6	-	10	8	8	9	-	2	-	-	-	-	-	7	-	-	-	8	8	8	-	6	-	-	-	-	
	+10	+10	+8	±3	+3	-	+8	+8	+6	+8	+8	+10	-	-	-	-	+8	-	-	-	-	-	-	+7	-	-	-	-	-	-	
	10	10	6	2	2	-	6	7	4	7	7	10	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	
	+7	+4	-	-	+6	-	+10	+6	+7	+8	+10	-	+10	-	-	-	+10	-	-	-	-	+8	-	-	-	-	-	-	-	-	
	10	4	-	-	4	-	7	5	6	7	9	-	10	-	-	-	9	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	
	+10	+6	+8	-	+3	-	+6	+9	+6	+8	+10	-	-	-	-	-	+9	+7	-	-	-	+7	-	-	-	-	-	-	-	-	
	10	8	8	-	2	-	5	8	5	7	10	-	-	-	-	-	9	6	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-9	-	-	±7	-	-	+8	+7	+3	+8	-	-	-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-8	-8	-	-	-	
	10	-	-	5	-	-	6	7	2	7	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7	-	-	
	+4	-	-	+6	-	-	+7	+6	-6	-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2	-	-	4	-	-	4	3	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	+8	+6	-	+4	-	-	+7	+6	+7	+8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	7	7	-	4	-	-	5	6	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

MATRIZ 2 de RESULTADOS $I_1; I_2; I_3$	Modificación de Régimen 1. Modificación del hábitat 2. Alteración cobertura vegetal 3. Alteración de aguas subterráneas 4. Alteración drenajes 5. Canalizaciones 6. Ruido y vibraciones 7. Superficies pavimentadas							Transform. de la tierra y construcción 8. Urbanización 9 Autopistas y puente 10. caminos 11. Líneas de transmisión. y ductos 12. Aeropuertos y helipuertos 13. Cortes y rellenados 14. Barrenado (piloteo)						Extracción de recursos 15. Excavación de Sup. 16. Relleno y extracción de canteras Procesos 17. Gen. de energía 18. Elim. de residuos				Alteración de la tierra 19. control de tránsito (playones) 20. Forestación y parquización 21. Relleno de pantanos y bañados				Cambios en el tráfico 22. Automóviles 23. Camiones 24. Tren 25. Comunicación y conductos				Tratamiento Emisiones y deposición de residuos 26. Emisión de poluentes 27. Descarga de efluentes 28. Desechos patológicos 29. Desechos org.-inorg. 30. Derrame de comb.					INDICE 2 Relacionado a cada elemento $(-) I_{2E} = \sum (-) I_1 \times n/30$ $(+) I_{2E} = \sum (+) I_1 \times n/30$			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	210	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	-I _{2E}	n	+I _{2E}	n
	Mat. de const.	-24	-24	-	-	-	-	-	-18	-28	-28	-15	-48	-	-18	-24	-24	-	-	-	-	-	-21	-	-	-	-	-	-	-	100	11	-	-
Suelos	-12	-24	-	±15	±4	-	±64	-35	-35	-35	-8	-24	-80	-54	-40	-24	-	-100	-	+56	+24	-	-	-	-	-	-80	-	-50	388	17	13	4	
Agua superficial	-8	-8	-	±42	+42	-	-64	-30	-40	-40	-	-	-80	-	-	-	-	-100	-	+42	-	-	-	-	-	-72	-80	-48	-48	-50	372	14	13	3
Agua subterránea	-30	-8	-64	-	-	-	-64	-64	-	-	-	-	-90	-	-	-	-	-100	-	-	-	-	-	-	-	-72	-72	-48	-48	-40	225	10	-	-
Calidad del agua	-42	-8	-42	-	-	-	-56	-42	-	-	-	-	-90	-	-	-	-	-100	-	-	-	-	-	-	-	-72	-72	-48	-48	-40	256	12	-	-
Cal. atm. emisiones	-48	-10	-	-	-	-	-	-64	-	-	-	-35	-	-	-	-	-80	-90	-16	+27	-	-56	-56	-20	-	-72	-	-72	-42	297	13	1	1	
Dep. mat. Partic.	-30	-4	-	-	-	-	-	-64	-	-	-	-12	-	-	-	-	-	-	-16	-	-	-48	-64	-24	-	-72	-	-	-	666	10	-	-	
Microfauna y flora	-8	-40	-	-12	-9	-16	-81	-64	-20	-20	-	-	-64	-16	-24	-24	-56	-100	-	-21	-24	-	-	-	-	-72	-24	-	-24	479	20	-	-	
Fauna y flora	-8	-40	-	-	-	-36	-64	-8	-	-	-	-8	-42	-	-	-	-56	-90	-	+21	-	-	-	-	-	-56	-	-	-	136	10	1	1	
Uso de la tierra	+64	+64	-	±48	-24	-25	+100	+100	+24	+35	-	-	+80	+80	+64	+8	-	+42	-	-	+40	-	-	-	-	-	-48	-48	-54	49	6	324	13	
Espacios abiertos	±48	-42	-	±15	+9	-	-72	-48	-40	-40	-42	-	-	-49	-50	-	-48	-80	-	+8	-	-	-	-	-	-8	-	-48	-48	-42	442	17	10	4
Residencial	±72	+56	-64	±49	+56	-56	+80	+100	+42	+56	+42	-	+100	+80	-	+90	-80	-	+64	+56	-	-	-49	+48	-72	-56	-90	-90	-42	265	11	495	15	
Comercial	+80	-56	-24	±42	+56	-42	+100	+100	+48	+56	+56	-	+100	+80	-	+90	-80	-	-	+56	-	+50	-	+48	-48	-56	-90	-90	-42	190	10	449	14	
Recreación	±48	±48	-	±36	+20	-48	-56	+48	-40	-40	-2	-	+30	-	-	-	-100	-	+48	+35	-	-	-	-	-72	-56	-90	-90	-42	358	14	65	7	
Paisaje	±56	±56	-	±24	+6	-48	-64	±56	-40	-35	-64	-	±42	-	-18	-18	-56	-100	-18	+80	+42	-	-	-	-72	-42	-90	-90	-42	751	20	96	8	
Cal. esp. abiertos	±24	±24	-	±35	+8	-64	-70	-56	-40	-35	-64	-	±42	-	-18	-18	-64	-100	-18	+80	+42	-	-	+72	-64	-42	-90	-90	-42	694	20	87	8	
Parques y reservas	-	-	-	-	-	-100	-100	-	-	-	-40	-	-	-	-	-	-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	4	-	-	
Esp. raros únicos	-	-	-	-	-	-100	-100	-	-	-	-40	-	-	-	-	-	-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	4	-	-	
Salud y seguridad	+100	+100	-56	±56	+8	-48	+56	+90	+54	+70	-36	+100	-	-	-	-35	-100	-	-	+48	-42	-	-	-	-72	-90	-100	-100	-12	297	12	227	10	
Empleo	+80	+80	+10	+10	+6	-	+35	+80	+36	+36	+8	+8	+14	+35	+42	+42	+72	+10	+8	+28	+10	-	+18	+12	-	-	-	-	-	-	513	22	-	-
Densidad pob.	+35	+40	-	±24	-	-24	+42	+100	+42	+56	+42	-	+30	-	-	-	-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3	-	-	
Transporte	+100	+16	-	±25	+42	-	+100	+72	+72	+90	-	+6	-	-	-	-	-	-	+56	-	-	-48	+56	-40	-	-24	-	-	-18	4	233	11	-	
Prest. de servicios	+100	+100	+48	±6	+6	-	+48	+56	+24	+56	+56	+100	-	-	-	-	+56	-	-	-	-	-	-	+56	-	-	-	-	-	-1	1	306	13	
Micro industrias	+70	+16	-	-	+24	-	+70	+30	+42	+56	+90	-	+100	-	-	-	+90	-	-	-	-	-	-	+64	-	-	-	-	-	-	-	239	11	-
Redes utilitarias	+100	+48	+64	-	+6	-	+30	+72	+30	+56	+100	-	-	-	-	-	+81	+42	-	-	-	-	-	+56	-	-	-	-	-	-	-	274	12	-
Disp. residuos	-90	-	-	±35	-	-	+48	+49	+6	+56	-	-	-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-56	-56	-	-	56	5	32	5	
Barreras Arq.	+8	-	-	±24	-	-	+28	+18	-30	-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3	10	4	
Corredores	+56	+42	-	±16	-	-	+35	+36	+42	+48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1	1	64	7	
$I_{2A}(-) = \sum (-) I_1 \times n/28$	299	196	45	288	4	260	366	235	102	96	100	23	202	19	37	19	136	871	10	1	1	28	15	19	9	448	311	313	320	282				
n Acciones	15	14	5	16	3	12	12	12	9	9	9	5	9	4	6	5	8	17	4	1	1	4	3	4	2	14	12	11	11	14				
$I_{2A}(+) = \sum (+) I_1 \times n/28$	583	316	13	305	146	-	358	612	198	287	98	30	173	39	7	3	103	10	4	161	113	-	13	1	74	-	-	-	-	-	-	-		
n Acciones	16	13	3	17	14	-	13	16	12	12	7	4	9	4	2	2	6	3	2	10	9	-	3	1	6	-	-	-	-	-	-	-		
INDICE 3 Sintetizando el conjunto de variables																						I_{2E}	$\sum I_{2E}(+) = 4086$	$\sum I_{2E}(-) = 6683$	$\therefore I_{2E} = (-) 2597$									
																						I_{2A}	$\sum I_{2A}(+) = 5030$	$\sum I_{2A}(-) = 7641$	$\therefore I_{2A} = (-) 2611$									

REFERENCIAS

- Discoli, C. y Rosenfeld, E. (1993). Diagnóstico temprano y control de la gestión energético-productiva del hábitat en el sector terciario. 16ª ASADES. Tomo I, 67-71.
- Morris, P. Y Therivel, R. (1995) *Methods of Environment Impact Assessment*. UCL, Londres.
- J. Glasson, et al. (1995) *Introduction to Environmental Impact Assessment*, 3rd edn, pp.96-100. UCL, Londres.

METODOLOGIA DE CUANTIFICACION Y DISCRIMINACION PARA LA EMISION DE CONTAMINANTES DE ORIGEN ENERGETICO EN LOS MODULOS DIFERENCIALES DEL SUBSECTOR SALUD.

Irene Martiniⁱ; Yael Rosenfeldⁱⁱ; Carlos Discoliⁱⁱⁱ, Elías Rosenfeldⁱⁱⁱ.

IDEHAB, Instituto de Estudios del Hábitat. Unidad de Investigación N°2.
Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de La Plata.
Calle 47 N°162 La Plata, Buenos Aires. FAX (021) 21-4705.

RESUMEN

Se presentan los avances realizados en la biblioteca informatizada de Módulos Edilicios Energéticos Productivos (MEEP) a partir de la incorporación de la variable ambiental. Se desarrolló una metodología, complementaria al análisis diferencial aplicado en la construcción de los MEEP, para la cuantificación de emisiones de contaminantes en función del tipo de consumo y vector energético utilizado en iluminación, equipamiento y climatización. A modo de ejemplo se presenta el desarrollo del MEEPA laboratorio.

INTRODUCCIÓN

En trabajos anteriores^{1 2 3 4} se presentó el estado de avance de la biblioteca informatizada de Módulos Edilicios Energéticos Productivos (MEEP) de las redes de salud y educación, como parte de las herramientas desarrolladas para el diagnóstico y control temprano de las redes edilicias del terciario. Cada MEEP representa las necesidades energéticas mínimas de cada diferencial prestación, definido como la unidad de análisis mínima de cada tipo de prestación para cada una de las redes analizadas. A partir de ello, se plantea el avance sobre los MEEP de salud incorporando la variable ambiental, como un análisis complementario al conocimiento integral de la red y de cada establecimiento en particular.

Los flujos energéticos intervinientes en cada MEEP generan un determinado proceso ambiental que se caracteriza por producir contaminación a partir de las emisiones de poluentes: material en partículas (Part.), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (Nox), hidrocarburos (Hidrocarb), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) en distintas proporciones según el combustible utilizado. Asimismo debe considerarse que el aumento cada vez más acelerado del consumo de energía, tiene un efecto considerable sobre el ambiente. Y que los recursos explotados y utilizados en la gestión del hábitat provienen, en su gran mayoría, de fuentes finitas (energía de fuentes convencionales) agotables en plazos relativamente cortos. Según la CEPAL⁵, la lógica indica, apoyada en la ciencia, que las alternativas posibles son: i. conservar los recursos; ii. desarrollar fuentes substitutas o alternativas; y iii. buscar alternativas de uso más eficientes.

La metodología desarrollada, que apunta hacia las tres alternativas, permite cuantificar y discriminar, mediante la construcción de los Módulos Edilicios Energéticos Productivos Ambientales (MEEPA), los requerimientos, la participación energética y el efecto en el ambiente de cada servicio de la red, y del total del establecimiento. Y una vez determinadas las emisiones de contaminantes, proponer alternativas de diseño para la optimización de las condiciones ambientales (reducción de contaminantes) y de habitabilidad, (confort higrotérmico y lumínico), detectando los posibles yacimientos de ahorro energético, tanto a nivel diferencial (MEEP), sectorial (servicios) como global (establecimiento).

Los MEEPA se estudian como una herramienta más para diagnosticar y actuar en la gestión energética de la red, con el objetivo de implementar un aumento considerable de la eficiencia energética de todas las actividades, y un cambio de fondo en los patrones de uso de la energía en todos los sectores.

METODOLOGÍA PARA EVALUAR LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES DE LOS MEEP

La cuantificación de las emisiones de contaminantes de los flujos energéticos intervinientes en los MEEP del subsector salud, se estudian a partir de las necesidades energéticas de cada uno. Para ello contamos con una biblioteca, donde cada módulo se sintetiza en una ficha tipológica, que concentra la totalidad de las variables analizadas para los tres usos preponderantes: la iluminación, el equipamiento y la climatización, desagregados en aporte y pérdidas de energía.

-
- i. Becaria Iniciación CONICET.
 - ii. Becaria Perfeccionamiento CONICET.
 - iii. Investigador CONICET.

Una vez calculados los valores de cada variable, se desarrolló una metodología para la construcción de los Módulos Edilicios Energéticos Productivos Ambientales (MEEPA) que contemplan las emisiones de contaminantes de los flujos energéticos intervinientes en cada módulo. Consiste, por lo tanto, en analizar los aportes y pérdidas de energía y evaluar sus respectivas emisiones de contaminantes, obteniéndose valores por módulo. Se busca en consecuencia, cuantificar las emisiones de los distintos módulos que intervienen en el equilibrio ambiental, con la posibilidad de proponer alternativas de mejoramiento a partir de una reducción de los consumos energéticos de sus áreas críticas.

COEFICIENTES DE EMISION DE CONTAMINANTES EN Kg/TEP PARA EL SECTOR RESIDENCIAL-COMERCIAL-PUBLICO						
	PARTIC	SO2	NOx	HIDROC	CO	CO2
LEÑA	29		0.19	0.96	308	7650
GAS NATURAL	0.19	0.005	1.8	0.38	0.38	2120
FUEL OIL	0.38	10	2.7	0.19	0.77	3050
GAS LICUADO	0.19	-	1.8	0.38	0.49	2730
INTERMEDIOS	0.38	10	2.7	0.19	0.8	3130
CARBON DE LEÑA	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	4500

Tabla N°1. "Biomass energy and environment" H.M. Braunstei et al, "Emission controls in electricity generation and industry", I.E.A.J. Moragues et al.

Para cada caso se toman los distintos módulos-tipo más representativos de cada área, analizando en primer término los aportes y pérdidas de energía, identificando las variables energéticas críticas de los módulos, y posteriormente cuantificando sus emisiones de contaminantes con el fin de producir una evaluación a nivel diferencial y/o global.

La cuantificación de los coeficientes de emisiones de contaminantes para cada diferencial de prestación se determinó a partir de la tabla N°1. Esta tabla sintetiza las emisiones en Kg/TEP de los sectores residencial, comercial y público, para leña, gas natural, fuel oil, gas licuado, intermedios y carbón de leña.

Con los valores de MEEP, desagregados en iluminación, equipamiento y climatización, (Kwh/día.m²) y el combustible seleccionado, se obtienen los coeficientes de emisión de contaminantes. A estos valores se les aplica un factor de conversión (Kwh a TEP) y se considera el número de días operativos para obtener un valor en TEP/año.

En este caso particular y como ejemplo metodológico, presentamos:

- La cuantificación de las emisiones de partículas (Part.), dióxido de azufre (SO2), óxido de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (Hidroc.), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO2), para un MEEP teórico de la biblioteca informatizada. En cuanto al combustible utilizado, consideramos para iluminación y equipamiento Fuel Oil como fuente de energía primaria y gas natural para la climatización; y

- La construcción del MEEPA a partir de la sistematización de las variables ambientales.

Denominación: LABORATORIO (10.000 pac.)	TEÓRICO	MEEP DT1b
Area: Diagnóstico y Tratamiento	Fecha: 10/97	

GRAFICA	REFERENCIAS	DATOS GENERALES
	A- Hematología y Química clínica. B- Microbiología. C- Toma de muestra	Sist. Constr.: Tradicional Superficie: 32,00m² Sup. Opaca: 8,00 m² Sup. Transparente: 2,40 m² Altura: 2,6 m T°Int.: 25° GD: 994 T°Media ext.: 17,5°

ILUMINACION			
General (fluorescente)	500 lux	12 hs	-
Localizada (incandescente)	800 lux	8 hs	2 m²
TOTAL Kwh/día.m²			0,075

EQUIPAMIENTO			
Refrigerador de banco de sangre	0,050 W	12 hs	
Horno eléctrico	1760 W	12 hs	
Estufa eléctrica	1760 W	12 hs	
Esterilizador	1000 W	12 hs	
Centrífuga	0,200 W	12 hs	
TOTAL Kwh/día.m²			0,608

CLIMATIZACION						
Ocupación	GAD	Renovación	Envolvente	Iluminac	TOTAL	
Cant.: 4 pers. Hs.: 12 F.Ocup.: 0,50	Ventana expuesta V.Simple	Cant.: 8 vol./h Dens.Aire: 1,3 Kg/m³ Entalpia: 0,99 KJ/Kg°C	K sup.op: 2,21 kw/m²°C K sup.tr: 5,8 kw/m²°C	0,075 Equip.		
0,075	0,073	1,071	0,142	0,608		0,443

	Teórico		Emision de Contaminantes Kg/m² año					
	Kwh/día.m²	TEP/año.m²	Part.	SO2	NOx	HC	CO	CO2
Iluminación	0,075	0,009	0,003	0,090	0,024	0,002	0,007	27,45
Equipamiento	0,608	0,076	0,029	0,760	0,205	0,014	0,058	231,8
Climatización	0,443	0,014	0,003	0,000	0,025	0,005	0,005	29,69
MEEPA	1,126	0,099	0,035	0,850	0,254	0,021	0,070	288,93

Figura 1. Ficha correspondiente al MEEP Laboratorio Tipo B.

CUANTIFICACION DE LAS EMISIONES DE CONTAMINANTES EN UN MEEP TEORICO

A modo de ejemplo se expone el desarrollo de la cuantificación de las emisiones de contaminantes para el MEEP teórico correspondiente a un laboratorio tipo B (Ver Fig.1) con una demanda de 10.000 pacientes.

Para este MEEP se adoptó un sistema constructivo tradicional macizo con pared de 20cm de espesor y una altura promedio del local de 2,6m. Se lo considera además en un piso intermedio y con uno de sus lados expuestos, con un aventanamiento de 4 m² sin protección y con vidrio simple. Para el cálculo de iluminación general se utilizaron lámparas fluorescentes con un flujo luminoso de 3.200 lm (rendimiento lumínico de 80 lm/w y rendimiento calórico de 0,2). Para iluminación localizada se consideraron lámparas incandescentes y una superficie de plano de trabajo de 2 m². La iluminación natural es unilateral con ventanas de 4m x 1m orientadas al Este. El equipamiento electromecánico considerado es de carácter general y constituye un "óptimo" para la prestación del servicio específico. El factor de ocupación y las horas de uso se determinaron en base a 12 hs de atención.

A partir de estos datos, se determinaron las necesidades energéticas de iluminación, equipamiento y climatización, desagregada en ocupación, ganancia directa por ventana, renovación y envolvente. Estos valores se sintetizan en la ficha que se muestra en la figura N°1.

Para cuantificar las emisiones de contaminantes, en función de los consumos en iluminación, equipamiento y climatización, incorporamos un factor de conversión de Kwh a TEP de 11.600 Kwh/TEP y el número de días al año que debe estar disponible el servicio según el tipo de prestación sanitaria. En el caso de laboratorio, se han considerado 365 días. Las expresiones siguientes calculan para cada variable (iluminación, equipamiento y climatización) la energía demandada en TEP por año y para cada m² de área destinada a ese servicio, resultando de la siguiente manera:

$$E_{il} = 0,075 \text{ Kwh/día} \cdot \text{m}^2 / 11600 \cdot 365 \text{ días} = 0,002 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2$$

$$E_{equ} = 0,608 \text{ Kwh/día} \cdot \text{m}^2 / 11600 \cdot 365 \text{ días} = 0,019 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2$$

$$E_{oil} = 0,443 \text{ Kwh/día} \cdot \text{m}^2 / 11600 \cdot 365 \text{ días} = 0,014 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2$$

En el caso de iluminación y equipamiento electromecánico, consideramos la energía primaria necesaria para cubrir esa demanda, afectando al resultado con un valor de 4 (correspondiente a un rendimiento global del sistema eléctrico del 25%).

$$E_{il} = 0,002 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 4 = 0,009 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2$$

$$E_{equ} = 0,019 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 4 = 0,076 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2$$

Sintetizando, las necesidades energéticas del MEEP laboratorio en TEP/año · m² teniendo en cuenta los usos de iluminación, equipamiento, climatización y el total de MEEP, quedarían conformadas de la siguiente manera:

- Iluminación:	0,009 TEP/año · m²
- Equipamiento:	0,076 TEP/año · m²
- Climatización:	0,014 TEP/año · m²
- MEEP:	0,099 TEP/año · m²

Del producto de la demanda energética de cada variable (iluminación, equipamiento y climatización) y la total de cada MEEP, con los coeficientes de emisión de cada contaminante de la tabla N° 1, resultan las emisiones de contaminantes para el MEEP Laboratorio B en Kg/año · m², discriminados por el tipo de contaminante para cada uno de los tres grandes paquetes: iluminación, equipamiento (fuel oil) y climatización (gas natural).

Para Material en Partículas (Partic.)

- Fuel oil Iluminación= $0,009 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 0,38 \text{ Kg/TEP} = 0,003 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

Equipamiento= $0,076 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 0,38 \text{ Kg/TEP} = 0,029 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

- Gas natural Climatización= $0,014 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 0,19 \text{ Kg/TEP} = 0,003 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

Total de emisiones de mat. en partículas = $0,003 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2 + 0,029 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2 + 0,003 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2 = 0,035 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

Para Dióxido Sulfúrico (SO₂)

- Fuel oil Iluminación= $0,009 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 10 \text{ Kg/TEP} = 0,090 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

Equipamiento= $0,076 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 10 \text{ Kg/TEP} = 0,760 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

- Gas natural Climatización= $0,014 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 0,005 \text{ Kg/TEP} = 0,00007 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

Total de emisiones de Dióxido Sulfúrico= $0,090 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2 + 0,760 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2 + 0,00007 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2 = 0,850 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

Para Oxido de Nitrógeno (NO_x)

- Fuel oil Iluminación= $0,009 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 2,7 \text{ Kg/TEP} = 0,024 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

Equipamiento= $0,076 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 2,7 \text{ Kg/TEP} = 0,205 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

- Gas natural Climatización= $0,014 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 1,8 \text{ Kg/TEP} = 0,025 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

Total de emisiones de Oxido de Nitrógeno= $0,024 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2 + 0,205 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2 + 0,025 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2 = 0,254 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

Para Hidrocarburos (Hidroc.)

- Fuel oil Iluminación= $0,009 \text{ TEP/año} \cdot \text{m}^2 \cdot 0,19 \text{ Kg/TEP} = 0,002 \text{ Kg/año} \cdot \text{m}^2$

	Equipamiento=	0,076 TEP/año · m ² · 0,19 Kg/TEP = 0,014 Kg/año · m ²
- Gas natural	Climatización=	0,014 TEP/año · m ² · 0,38 Kg/TEP = 0,005 Kg/año · m ²
Total de emisiones de Hidrocarburos=		0,002 Kg/año · m² + 0,014 Kg/año · m² + 0,005 Kg/año · m² = 0,021 Kg/año · m²

Para Monóxido de Carbono (CO)

- Fuel oil	Iluminación=	0,009 TEP/año · m ² · 0,77 Kg/TEP = 0,007 Kg/año · m ²
	Equipamiento=	0,076 TEP/año · m ² · 0,77 Kg/TEP = 0,058 Kg/año · m ²
- Gas natural	Climatización=	0,014 TEP/año · m ² · 0,38 Kg/TEP = 0,005 Kg/año · m ²
Total de emisiones de Monóxido Carb.=		0,007 Kg/año · m² + 0,058 Kg/año · m² + 0,005 Kg/año · m² = 0,070 Kg/año · m²

Para Dióxido de Carbono (CO₂)

- Fuel oil	Iluminación=	0,009 TEP/año · m ² · 3050 Kg/TEP = 27,45 Kg/año · m ²
	Equipamiento=	0,076 TEP/año · m ² · 3050 Kg/TEP = 231,8 Kg/año · m ²
Gas natural	Climatización=	0,014 TEP/año · m ² · 2120 Kg/TEP = 29,69 Kg/año · m ²
Total de emisiones de Dióxido de Carb.=		27,45 Kg/año · m² + 231,8 Kg/año · m² + 29,68 Kg/año · m² = 288,93Kg/año · m²

En la parte inferior de la ficha de Figura N°1 se presenta la tabla resumen los valores calculados para el MEEPA Laboratorio B.

SISTEMATIZACION DE LAS VARIABLES AMBIENTALES (MEEPA)

La biblioteca informatizada de MEEP es un sistema que opera en forma autónoma y compatible con el resto de las herramientas y sistemas informáticas desarrolladas para el subsector salud. En ella se sistematiza la información de cada MEEP (teóricos, teóricos óptimo, reales y optimizados) cuantificando y discriminando la demanda de energía en sus diferentes aplicaciones. En este caso se avanzó en la incorporación de variables ambientales calculando las emisiones de contaminantes para cada MEEP.

La estructura de funcionamiento diseñada, se basa en una matriz de datos que relaciona los valores de cada MEEP, obtenidos de los cálculos de iluminación, equipamiento y climatización, con los distintos contaminantes (Partic., SO₂, NO_x, Hidroc., CO y CO₂), según el combustible seleccionado.

El programa muestra como salida una pantalla donde se sintetiza en una ficha, toda la información gráfica y técnica, calcula las necesidades energéticas totales del MEEP y desagregadas en iluminación, equipamiento y climatización, con sus correspondientes emisiones de contaminantes en Kg/año · m².

CONCLUSIONES

La incorporación de la variable ambiental a los MEEP surge a partir de la necesidad de profundizar y ampliar el conocimiento en la relación energía-ambiente de la red de salud. La incorporación de la variable ambiental al sistema informatizado nos permite identificar, además de las necesidades energéticas, las áreas críticas de cada establecimiento que tienen una participación relevante en las emisiones, discriminadas por contaminante, con el objeto de advertir su magnitud y de proponer en consecuencia alternativas de mejoramiento a través de la reducción u optimización del consumo energético.

Por otro lado, la obtención de valores que cuantifican la demanda y las emisiones de contaminantes energéticos y proceso ambiental de los edificios de salud a nivel global y diferencial, constituye una herramienta para el diagnóstico y control temprano con el fin de evaluar el impacto ambiental realizado por los edificios energo-intensivos de la red de salud a escala local (emisiones propias) y escala regional (emisiones de los controles termo-eléctricos).

Asimismo, los MEEPA nos permiten comparar el proceso ambiental de los edificios de salud con otros edificios de las redes del terciario y conocer la participación de cada MEEPA o conjuntos de MEEPA en el total del establecimiento.

Resulta claro también que el conocimiento diferencial de cada servicio de salud, desde el punto de vista energético en relación a lo edilicio, lo productivo, y ambiental, permite identificar los posibles ahorros de cada una de las áreas específicas de los establecimientos de salud, con la consecuente reducción de emisiones.

Respecto a los resultados obtenidos en la primera serie de MEEPA se observan valores específicos de emisiones de contaminantes (kg/m²año) y resulta interesante contar con la posibilidad de identificar las áreas críticas de los edificios de salud con el objeto de implementar mejoras.

1. Martini, I. (1998). La sistematización de los Módulos Edilicios Energéticos Productivos (MEEP), como herramienta de mejoramiento energético-ambiental en las redes edilicias de salud y educación Informe Beca de Perfeccionamiento. UNLP.
2. Rosenfeld, Y. (1998). Las redes territoriales. El contenido de Ciencia y Tecnología de sus variables energéticas. Informe Beca UNLP.
3. Rosenfeld, Y. Martini, I. Discoli, C. Tesler, J. Rosenfeld, E. (1996). Sistematización y biblioteca de Módulos Edilicios Energéticos Productivos (MEEP) del subsector salud. XIX ASADES. Vol 1. 6.25-6.28.
4. Rosenfeld, Y. Martini, I. Discoli, C. Tesler, J. Rosenfeld, E. (1997). *Incorporación del los módulos edilicios energéticos productivos (MEEP) de educación a la biblioteca informatizada*. XX ASADES, Vol 1 n° 2, 109-112.
5. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (1985). *Las evaluaciones del impacto ambiental como metodologías de incorporación del medio ambiente en la planificación*.

INTELIGENCIA - URE EN EDIFICIOS MEDIANTE EL CONTROL INTEGRAL DE VARIABLES

Eliás Rosenfeld^{*}, Carlos A. Discoli^{*}, Fernando Romero^{**}, Carlos Ferreyro^{**}, Agustín Pinedo^{***}, Juan M. Moreno^{***}

Instituto de Estudios del Hábitat, IDEHAB, U.I. N°2, FAU, UNLP.
Calle 47 N°162. CC 478 (1900) La Plata.
Tel-fax: 021-214705. E-mail: erosenfe@arqui.farulp.unlp.edu.ar

RESUMEN

El trabajo desarrolla una metodología y un marco de referencia en la temática de edificios inteligentes, necesario para la determinación de requerimientos y variables en edificios de mediana y baja complejidad nuevos o susceptibles de ser reciclados. Se propone un concepto de inteligencia que integre la toma de decisiones, el conocimiento actual e histórico, el diseño energéticamente consciente y la arquitectura protegida. Se pretende utilizar la integración de variables como estrategia de URE.

INTRODUCCIÓN

El trabajo forma parte de un proyecto marco denominado SISTEMA INTELIGENTE AVANZADO PARA EDIFICIOS (SIAPE) y del proyecto EDIFICIOS INTELIGENTES. Una concepción integral para los requerimientos en la arquitectura, PIA N° 6835/96, en los que se plantea investigar las tecnologías necesarias para incorporar sistemas inteligentes avanzados de mediano costo, a edificios nuevos o susceptibles de ser reciclados. El concepto de inteligencia avanzada que se propone, tiene que ver con la toma de decisiones en forma inteligente e integral en base al conocimiento actual e histórico incorporado. Se contemplan en el conocimiento y en el entorno edilicio, los conceptos y tecnologías de diseño energéticamente consciente (uso racional de la energía y los recursos, URER) y de vivienda protegida (para diferentes niveles de discapacidad).

Se plantea como hipótesis general que la implementación de estos sistemas conlleva una mayor eficiencia en los servicios suministrados respecto a los edificios tradicionales que impacta en un mejoramiento integral del hábitat incluido el URE. Como hipótesis complementarias, se plantean las siguientes:

- a) Que la tendencia al aumento de los valores de los servicios y a la disminución de los costos de estos sistemas ha llegado a un punto de cruce en el cual, la amortización de los mismos se realiza en un tiempo razonable, lo que permite el uso de esta tecnología en edificios de pequeño y mediano porte, en los que no es tradicional.
- b) Que la creciente complejidad de los sistemas de control, gestión y seguridad, pertenecientes a edificios del sector terciario y parte del residencial, justifican soluciones de este tipo.
- c) Que los distintos tipos de edificios tienen características comunes en cuanto a las necesidades, las cuales llevarían a utilizar sistemas de uso general.

Se plantea avanzar sobre el estado del conocimiento y formular una metodología para la sistematización y clasificación de variables con especificaciones de requerimientos.

EVOLUCIÓN DEL CONOCIMIENTO

La arquitectura de sistemas inteligentes se ha insertado, hasta el momento, en edificios de fuerte complejidad. Como muchos de los desarrollos del último cuarto de siglo no proviene de un corpus teórico previo, sino que es producto de un proceso evolutivo característico de las mejoras incrementales de la tecnología contemporánea, en la medida en que se fue gestando el que parece ser el paradigma tecnoeconómico dominante de nuestros tiempos, basado en el complejo de tecnologías de información y comunicación. Ello no obsta para que se puedan destacar concepciones precursoras como las de Buckminster Fuller, con su *Dimaxion House* o las ideas más generales de Norbert Wiener.

Hace una década ya se aceptaba que la "inteligencia" de un edificio era la consecuencia de tres condiciones básicas:

- a. automatización, lograda a través de la integración, en un solo soporte, de subsistemas de gestión del edificio, seguridad y ahorro de energía;

* Investigador CONICET.

** Investigador UNLP.

*** Colaborador.

- b. comunicaciones avanzadas con grandes capacidades, logradas por la aplicación de conmutadores digitales y fibra óptica;
- c. un amplio y completo equipamiento ofimático¹, soportado por una red de área local.

Si hacemos un recorrido retrospectivo del tema, podemos observar que el proceso evolutivo hacia una explícita arquitectura de sistemas inteligentes, cuyos antecedentes pueden encontrarse reseñados en dos obras liminares de Reyner Banham: *Teoría y diseño en la era de la máquina* y *La arquitectura del entorno bien climatizado* (R. Banham^{2 3}), presenta un primer corte histórico hacia fines de la década de los '60, cuando podían identificarse en Estados Unidos 550 edificios, que disponían de sistemas de control de gestión y seguridad, basados fundamentalmente en mecanismos eléctricos, térmicos o magnéticos (J.M.Fernández Fernández-Isla⁴). Hacia 1976 se contabilizaron más de 2.100 edificios o instalaciones en el mundo desarrollado, con diferentes niveles de automatización informatizada o niveles elementales de inteligencia. Para entonces se vivían plenamente los efectos de la crisis energética de 1973 y se habían abaratado enormemente los productos informáticos. Si definimos cortes históricos, podemos inferir que la **primera generación de edificios inteligentes**, a fin de los '60; definibles verdaderamente como edificios parcialmente automatizados, sufrieron una etapa de transición inicial y aprendizaje, luego de la cual, han ido incorporando, en los años '70, las telecomunicaciones y la ofimática a los controles de gestión de seguridad y conservación de energía (URE) se daba respuesta a la crisis energética de esa década, formando parte ya en esta instancia, de los **edificios de segunda generación**. Es así que hacia 1981 aparece el concepto de inteligencia. A fines de los 80, se incorporaron otros conceptos ligados no ya a las instalaciones sino a la arquitectura y el diseño urbano: mayores exigencias de calidad ambiental; acertado planeamiento entre las zonas funcionales; diseño que contemple el crecimiento y la flexibilidad; sistemas de gestión de energía para el acondicionamiento higrotérmico, lumínico y sonoro y disposiciones constructivas que permitan la canalización de los diferentes flujos de los subsistemas, definiendo a los mismos como **edificios de tercera generación**. La concepción de inteligencia avanzada, propuesta por este proyecto, incorporando la toma de decisiones en forma inteligente e integral basada en el conocimiento actual e histórico, contemplando además los conceptos de diseño energéticamente consciente y arquitectura protegida, nos ubicaría en lo que definiríamos **edificios inteligentes de cuarta generación**.

El concepto de "Edificio Inteligente" (EI) ha ido evolucionando en función de los requerimientos y la tecnología aplicada. Las estrategias de venta y marketing del producto, en general han provocado efectos contraproducentes con el término, ya que se ha promocionado el producto de manera poco veraz, adjudicándole atributos que se cumplían en sus primeros tiempos limitadamente, encubriendo así las soluciones reales y conceptuales de los requerimientos para el que los sistemas habían sido concebidos. Hubo muchas empresas que comercializaron sistemas para edificios inteligentes saturando el mercado generándose en estas instancias definiciones como: "Un edificio inteligente es aquel que promueve la transferencia de datos de un sistema a otro". Uno de los aspectos relevantes que más interesaba a los propietarios y usuarios, era la facilidad del control de mantenimiento, siendo el sistema del edificio capaz de promover reportes detallados de su estado de conservación y reparación.

De hecho se observa en general una gran dispersión de emprendimientos, conceptos y definiciones ligada al término EI. Lo que se puede afirmar hasta el momento, es que cuanto más viejo es el edificio, más automatización y menos inteligencia tiene.

En Estados Unidos a principios de los años 80, en los edificios se intensificó el uso de la electrónica y de la alta tecnología relacionada. De hecho, la Academia Nacional de Ciencias en Washington, DC, formalizó un comité normalizador relacionado al crecimiento de la electrónica en los edificios. En función de los aspectos intervinientes en un edificio inteligente, se clasificó su operación y control en cuatro categorías: a. uso eficiente de la energía; b. sistemas de seguridad; c. sistemas de telecomunicaciones y d. automatización del trabajo.

La meta en el diseño de EI fue integrar las cuatro áreas operativas en un sólo sistema computarizado.

El concepto de EI mostró importantes avances fundamentalmente en EE UU por las siguientes razones: a. allí la ley permite a terceras partes ofrecer servicios telefónicos; b. los principales proveedores y promotores del concepto de EI están allí; c. el alto número de construcciones nuevas es suficiente como para permitir la experimentación en gran escala y d. un EI es más fácil de alquilar en ese contexto.

En un primer momento la tendencia fue que la totalidad del control se ejerciera desde un computador central. Esto conllevaba el peligro que un desperfecto en dicho equipamiento dejaría fuera de servicio el edificio. Luego comenzaron a utilizarse redes de datos y sistemas embebidos, dos tecnologías que revolucionan los ambientes domésticos y edificios en general. Los microprocesadores fueron embebidos en numerosas aplicaciones domóticas desde máquinas de lavar a sistemas de agua caliente.

En la evolución de estos edificios se registraron en los países desarrollados, grandes éxitos y también notorios efectos negativos que, empezaron a ser superados. En líneas generales los problemas eran los siguientes: a. Consecuencias negativas de la optimización unilateral de los subsistemas. Por ejemplo, minimización de la ventilación, para ahorrar energía, registrándose en consecuencia focos patógenos en los conductos de aire y patologías consiguientes en los usuarios; b. introducción de sistemas inteligentes en edificios inadecuados, tanto en su diseño, como en la calidad térmica de la envolvente en relación a las condiciones de contorno; c. apelación excesiva a soluciones tecnológicas tipo *high-tech* que resultaron en fallas operativas, de durabilidad y escasa flexibilidad ante situaciones de colapso de los sistemas.

En la actualidad, las diferentes líneas de trabajo tienden a converger en lo que se denomina **Inteligencia distribuida-centralizada**. Se utilizan sistemas autónomos inteligentes conectados a una red de comunicaciones. La inteligencia está en la red. Se puede establecer un puesto de control desde diversos puntos de la red e interactuar con los distintos sistemas interconectados. De esta manera, la falla de un equipo no sólo no deja sin sistema al equipo, sino que una falla generalizada de la red permitiría funcionar a los equipos autónomos en una prestación mínima debido a la inteligencia distribuida entre estos

sistemas. Como ejemplo, un sistema de control de accesos dejará de comunicar al sistema la entrada de personas, pero seguirá abriendo las puertas a las personas que introduzcan su tarjeta magnética en cada puesto, sirviendo una base de datos en cada puesto para verificar los correspondientes derechos de accesos.

En los países en desarrollo la tendencia general ha sido la misma, pero las diferencias de contexto han ido configurando trayectorias y necesidades bien diferenciadas. Si la tendencia en los países desarrollados pasó de un primer estadio restringido a edificios de gran porte y complejidad, extendiéndose luego a categorías menos complejas y a los sistemas inteligentes urbanos, en todos los casos con tecnología relativamente sofisticada, en los países periféricos no ha ocurrido lo mismo. Los sistemas edificios inteligentes, por su alto costo, se han limitado solamente a los edificios con pretensiones emblemáticas. Su funcionamiento se ve afectado en muchos casos no sólo por los inconvenientes propios registrados en estos sistemas, sino también por las dificultades originadas en la configuración de componentes importados, sin una adecuada infraestructura de puesta en marcha y mantenimiento.

Así, en nuestro país, se ha verificado la implementación de sistemas inteligentes que registraron algunos o varios de los inconvenientes antes señalados cuando estos problemas ya habían sido resueltos en los países centrales. Debe tenerse en cuenta que el proceso histórico en nuestro país, también sufrió una evolución que puede sintetizarse en los siguientes términos:

- a. La creciente complejidad de los sistemas, servicios y actividades de los grandes edificios determinaron, en forma más intensa a partir de los años '70, una diversidad de requerimientos y enlaces, con la implementación de sistemas electrónicos. Ello se basó en la experiencia ganada en la automatización, principalmente en el sector industrial y posteriormente en edificios del terciario de gran tamaño.
- b. En muchos casos se registraron problemas originados en que cada sistema fue pensado y diseñado en forma independiente. Al tratar de integrarlos surgieron inconvenientes que, en muchos casos, aún no encuentran una solución razonable. A pesar de ello, este criterio se sigue aplicando en la actualidad en la mayor parte de los casos. Además no se integraron armónicamente los sistemas en la arquitectura.
- c. Asimismo los sistemas implementados, en su mayoría han contado y todavía cuentan, con deficiencias originadas en su concepción y/o materialización no integrada, con problemas de salubridad, con dudosa armonización de componentes, con sobrecostos de operación dado su complejidad y de mantenimiento.

Como resultado de proyectos anteriores, desarrollados por nuestro grupo y otros en el ámbito nacional, se han detectado las siguientes demandas insatisfechas, encontrándose algunas de ellas en vías de solución:

- i. La necesidad y conveniencia de desarrollar una arquitectura incorporando sistemas inteligentes a edificios de complejidad media y baja, de costo razonable y tecnología acorde con el contexto nacional. Actualmente esta situación está siendo revertida ya que el equipamiento adquirible en el mercado presenta una importante versatilidad de prestaciones con precios más accesibles y totalmente modulares orientados a pequeña, mediana y gran escala ;
- ii. La conveniencia de incorporar los conceptos de "arquitectura protegida", desarrollada desde hace dos décadas en los países centrales, que resuelve los diferentes tipos de barreras físico-funcionales, combinando el diseño con equipamiento orientado a contener, servir y proteger a usuarios con diferentes grados de discapacidad o de la tercera edad;
- iii. Las conveniencia de incorporar las pautas de URE y los desarrollos obtenidos en diseño bioclimático pasivo, que permite lograr acondicionamiento ambiental natural de bajo costo y reducido mantenimiento. Así como software y hardware para aplicaciones de electrónica e informática y componentes destinados a seguridad y control de gestión, producidos en el mercado a precios competitivos;
- iv. Escasa difusión y relativa inexistencia en el país de sistemas que sean implementados razonablemente en el parque edilicio de mediana envergadura, destinado viviendas y demás servicios del sector terciario, donde estas prestaciones pueden tener una interesante demanda. Apunta a considerar los actuales requerimientos de aumento de la eficiencia de la gestión, de reducción de costos operativos y de respuesta a las necesidades sociales (seguridad, resoluciones orientadas a discapacidades, etc.). En este punto, existe recientemente una oferta incipiente de productos orientados fundamentalmente a: por un lado a viviendas cuyos usuarios tienen un cierto poder adquisitivo, mientras que por el otro, el terciario presenta grandes asimetrías, existiendo en alguno de los sectores, demandas importantes de estos productos, mientras que en otros, como el caso de salud y educación, fundamentalmente de la esfera estatal, todavía conviven con demandas primarias de requerimientos.

Al respecto nuestra propuesta implica una ampliación e innovación metodológica, con el objeto de generar bases para un sistema inteligente avanzado, incorporando los conceptos antes mencionados.

ESTRATEGIAS DE CONTROL Y URE

A partir de una intensa búsqueda de información se pudo conformar una grilla de variables y sistemas para la utilización de la tecnología de edificios inteligentes.

En el aspecto energético se podrían lograr ahorros mayores con un diseño bioclimático que apunte al control y al uso racional de la energía. Las estrategias posibles de implementar para reducir el consumo de energía pueden ser agrupadas en activas y pasivas. Entre las activas podemos mencionar: a. programa de arranque/parada; b. optimizador de arranque/parada; c. ciclo de trabajo; d. reset de Setpoint; e. limitador de la demanda eléctrica; f. control adaptivo; g. optimización de enfriadores; h. optimización de calderas e i. optimización de fuentes de energía.

La inteligencia aplicada a la consecución de estas estrategias, se logra a través de los siguientes sistemas vigentes en el mercado: a. Sistema de Automatización del Edificio (Building Automation System (BAS)); b. Sistema de Gerenciamiento de la Energía (Energy Management System (EMS)); c. Sistema de Control y Manejo de la Energía (Energy Management and Control System (EMCS)); d. Central de Control y Monitoreo del Sistema (Central Control and Monitoring System (CCMS))

y e. Sistema de manejo de Facilidades (Facilities Management System (FMS)).

Entre las pasivas podemos mencionar: a. orientación diferenciada por sectores y tipos de uso; b. control de ganancias y pérdidas por aventanamiento; c. control solar por parasoles; d. ventilación natural y control de infiltraciones y e. aislación termohidrófuga de la envolvente.

La implementación de estas estrategias se logra a través del diseño inteligente, procurando formular acciones de compromiso entre las diferentes alternativas. La calidad de los componentes, como el caso de los vidrios, interviene significativamente en la eficacia de la implementación de alguna de las estrategias planteadas.

Con respecto a la seguridad, se utilizan tecnologías para mejorar la performance de las alarmas de incendio y sistemas de seguridad minimizando al mismo tiempo los costos. Los factores que involucran la seguridad son: a. reducida dependencia de la intervención humana; b. circuito cerrado de televisión; c. control de accesos; d. detección de humo y gases; e. alarmas de intrusión; f. control en emergencia de elevadores, sistemas de HVAC, puertas y g. UPS (Uninterrupted Power Supply)

Con respecto a las telecomunicaciones, se ofrece a los usuarios sofisticados servicios a costos reducidos ya que el equipamiento es compartido por todos. Algunos de estos servicios son: a. PBX (Private Branch) Centrales privadas de telefonía; b. cable visión; c. videotexto y d. Email.

Con respecto al uso de alta tecnología en la automatización del trabajo, se reducen los costos al ser compartido el equipamiento entre los usuarios. Algunos aspectos de ésta área son: a. procesamiento de datos centralizado; b. procesamiento de textos: incluyen la creación, revisión, almacenamiento, recuperación y transmisión de documentos; c. CAD (Computer Aided Design) Diseño asistido por computadora; d. sistemas de información; e. teleconferencia; f. centralización de mensajes y g. servicios de mantenimiento de computación

RESULTADOS OBTENIDOS

Para la determinación de los requerimientos de un EI se planteó una configuración de macrovariables edilicias y tecnológicas, que puestas en una grilla permite confrontar requerimientos con prestaciones de las nuevas tecnologías. La macrovariable edilicia se estudia según dos puntos de vista:

1. funcional, con las siguientes áreas de variables: relacionada a la estructura resistente, a los sistemas, a los servicios y a la administración
2. estructural, donde se estudian tres cualidades: flexibilidad del edificio, integración del servicio y diseño interior y exterior. Las variables se agrupan en cinco áreas: estructura y envolvente, entorno, servicios, interiores y decorados.

Algunas de variables son: partido arquitectónico bioclimático, iluminación natural y percepción visual, acústica, espacios técnicos, espacios para equipamiento de control y espacio para instalación de antena.

En cuanto a la macrovariable tecnológica se compone de tres áreas: soportes de comunicación con las variables redes, protocolos y bus; sistemas integrados y sistemas parciales con las variables: detección de inundación, de calor, de intrusión, control de acceso, etc.

A partir de esta clasificación se planteó una matriz integral, la cual intenta contener y sistematizar la totalidad de las variables permitiendo identificar y discriminar las relevantes para cada emprendimiento, como también sus respectivos rangos.

CONCLUSIONES

El trabajo plantea una nueva concepción en edificios inteligentes, el cual ha permitido indagar, desde un aspecto cronológico, la evolución conceptual y tecnológica generando así un marco teórico de referencia; desde un aspecto arquitectónico, la identificación y sistematización de las variables y demandas relevantes, detectando las necesidades comunes y particulares del parque edilicio de mediana y baja complejidad; y desde el aspecto tecnológico, la identificación, conocimiento de especificaciones y disponibilidad en el mercado de sistemas y componentes.

La explicitación y ordenamiento de variables realizada en este proyecto, nos permitió la realización posterior de un modelo del consumo energético para un EI de porte medio, localizado en un área de densidad media de nuestra región y su confrontación con los modelos convencionales.

REFERENCIAS

1. Entendemos como ofimática al soporte de toda actividad intelectual con apoyo logístico de información y procesamiento de datos que se realiza en todo ámbito.
2. R. Banham, "Teoría y diseño en la era de la máquina", Ed. Nueva Visión, Buenos Aires, 1965.
3. R. Banham, "La arquitectura del entorno bien climatizado", Ed. Infinito, Buenos Aires, 1975.
4. J.M. Fernández Fernández-Isla, "Edificios corporativos", en "Curso sobre Edificios Inteligentes", COAM, Madrid, 1989.

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE UNA RED TRIFÁSICA DE POTENCIA, POR EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SUS IMPEDANCIAS VARIABLES Y COMPLEJAS¹

Hoyos, L²
Facultad de Ingeniería

Cadena, C³; Hoyos, D;
Facultad de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta
Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta - República Argentina
e-mail: cadena@ciunsa.edu.ar - fax 54-87-255489

RESUMEN

En la actualidad, resulta de suma utilidad tanto desde el punto de vista de las empresas responsables del transporte de energía, como de los grandes consumidores, el cálculo de la potencia activa media mensual y anual, el factor de carga mensual y anual referido a la potencia contratada, y las horas de utilización mensuales y anuales referidas a la potencia contratada y a la total instalada, entre otras tantas variables, dado que *permite economizar energía o bien disminuir los costos de las empresas*. En el presente trabajo se describe un sistema que plantea un *método de análisis de las impedancias complejas variables*, midiendo en forma automática, corrientes de elevada intensidad y tensiones en grandes consumidores para su posterior análisis y procesamiento.

INTRODUCCIÓN

Se plantea un método para analizar el comportamiento de la red de energía eléctrica de una industria, fábrica e incluso un establecimiento educacional que compra energía. El circuito de distribución con los equipos consumidores de energía, constituye una "*Impedancia Variable*" en el tiempo. Este análisis se realiza diariamente determinando la variación de algunos parámetros tales como: *Tensión, Corriente Eléctrica, Factor de Potencia, Potencias, y -Frecuencias*.

El mismo consta básicamente de sensores contruidos o adaptados para tal fin, un sistema de adquisición de datos adaptado mediante una interfase para su mejor aprovechamiento, una microcomputadora especialmente adaptada para trabajar aún en condiciones anormales de tensión de red, y un "software amigable" para el procesamiento y análisis. El equipo ha funcionado satisfactoriamente durante una temporada y ha permitido recolectar un conjunto muy importante de datos para su posterior análisis. Se analizan los resultados obtenidos y las conclusiones, luego de realizadas las mediciones en forma piloto en la Universidad Nacional de Salta

Por lo general, se computa periódicamente la energía activa consumida por día y la reactiva registrada. El método permite en consecuencia establecer, entre otras cosas:

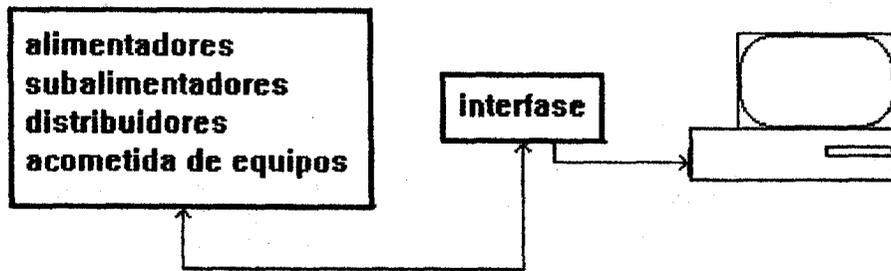
- la calidad del servicio que se adquiere,
- el funcionamiento normal o anormal del circuito eléctrico detectando las anomalías como baja o alta tensión,
- desequilibrio de las fases,
- calentamiento anormal de los conductores,
- factores de potencia bajos etc.

Obteniéndose por lo tanto, la pérdida de energía interna de la red eléctrica, y en consecuencia permite al profesional de planta visualizar cómo está funcionando la red y efectuar las correcciones necesarias. Para realizar las mediciones y procedimiento se utilizan analizadores de carga y una computadora. El esquema general del equipo de medida se muestra en la figura 1:

¹ Parcialmente financiado por CIUNSa

² Profesor Titular

³ Profesional CONICET



ESQUEMA GENERAL

fig.1

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

La secuencia de las operaciones necesarias para analizar el comportamiento de una red de energía eléctrica es la siguiente: recopilación de datos generales sobre el sistema a analizar, procesamiento de estos datos y prediagnóstico del funcionamiento de la instalación. Con el prediagnóstico se decide el tipo de medida a realizar, se hace la misma y finalmente se analiza el funcionamiento completo de la instalación. Esta secuencia se muestra en la figura 2.

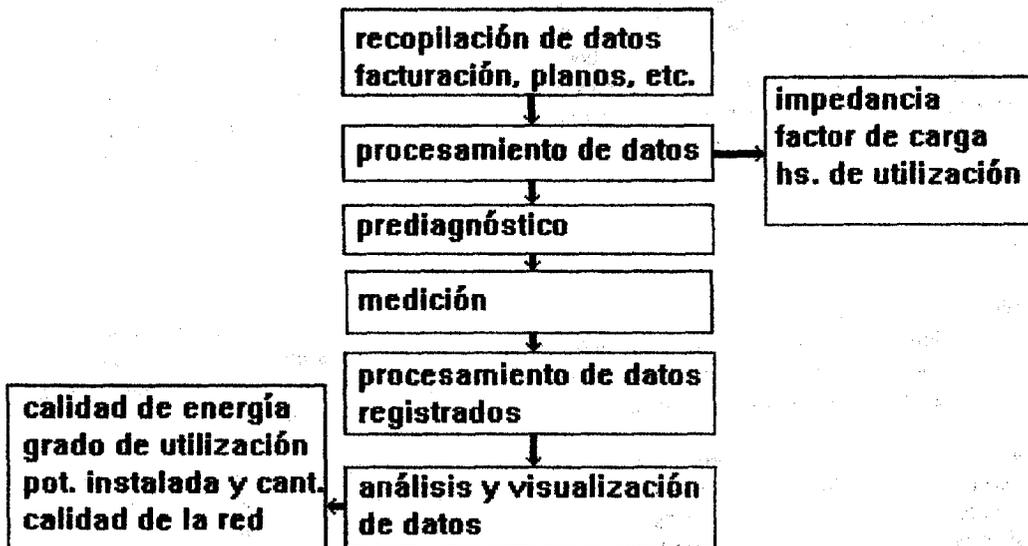


fig. 2

RECOPIACIÓN DE DATOS

El conjunto de datos que se necesitan para el análisis de proceso, proviene:

- De la Instalación Eléctrica de Distribución que incluye los planos conforme a obra de la Red de Distribución de la Energía Eléctrica (alimentadores, subalimentadores y distribuidores), con los equipos usuarios de la energía.
- Listado de todos los aparatos consumidores de la energía eléctrica, con las siguientes características:
 - Potencia Activa Nominal y Reactiva, Impedancia, Potencia Activa Total Instalada. Potencia Total Instalada para el Proceso Industrial P_T .
 - Tipo de Funcionamiento de la Industria que puede ser continuo o discontinuo. Horario de trabajo de la industria. Tiempo de elaboración de determinada cantidad de productos, expresado en horas.
 - Cronograma de trabajo de cada uno de los equipos eléctricos (gráficos diarios). Cronograma general o conjunto de la industria (gráficos diarios). En cada caso, establecer, si las máquinas operadoras industrial, trabajan a plena carga o el grado de la misma.
 - Tipo de Construcción Civil a saber dimensiones, composición del ambiente de las salas de maquinas (temperaturas, contaminación, humedad, etc.)
 - Historia del Consumo de Energía Eléctrica, en los últimos dos años, la Potencia Activa Contratada P_c con la empresa proveedora de la energía.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Las tareas a realizar son entre otras:

- Clasificación de la Red de Distribución en Alimentadores, Subalimentadores, Distribuidores y Acometidas de los equipos eléctricos. Trazado del Esquema Unifilar Equivalente .
- Cálculo analítico de las Impedancias Equivalentes de Distribuidores, Subalimentadores, Alimentadores y la total del Circuito.
- Determinación de las intensidades Admisibles de los conductores I_A , de acuerdo al tipo constructivo de la instalación
- Cálculo de la Potencia Activa Media, mensual y anual de los últimos dos años. Cálculo de los Coeficientes específicos, Factores de carga y Horas de utilización que indican el grado de aprovechamiento de la maquinaria eléctrica instalada y de la potencia contratada

PREDIAGNÓSTICO y MEDICIONES

En esta etapa se determina mediante el Factor de Carga y las Horas de Utilización que indican la irregularidad de los Diagramas de Variación de la Potencia Activa Diaria (empuntados o no). Se determina el tiempo que demandará la medición total (meses o años). A continuación se realizan las mediciones y registros con los Analizadores de Carga y su transferencia a la computadora, durante el tiempo ya definido.

Las variables a medir con El Analizador de Cargas en el alimentador principal, alimentadores secundarios y distribuidores son en general: Frecuencias, Tensiones, Potencias, Factor de Potencia, Corrientes y Energías.

La frecuencia de las mediciones, depende de la irregularidad de los diagramas diarios de Potencias Activas. Se definirá en cada caso de acuerdo con los valores del Factor de Carga u Horas de utilización referidas a la Potencia contratada, obtenidas en el Prediagnóstico, y al cronograma de trabajo de la maquinaria industrial.

PROCESAMIENTO

Los analizadores de Carga, entregan los valores de las variables en función del tiempo, la computadora obtiene la gráfica diaria. De manera que se tiene los registros literales (tablas) y los gráficos diarios de todas las variables. Se obtiene por procesamiento de la información recopilada por los analizadores de carga, los siguientes resultados:

- El consumo de energía eléctrica activa en los siguientes lapsos de tiempo, en las 24 horas del día, en la jornada laboral diaria, y las sumatorias mensuales.
- El consumo específico de energía activa total que se utiliza para producir la unidad de producción.
- La potencia activa máxima, media y mínima de un día.
- Detectar si existe una potencia superior a la potencia contratada durante el día.
- Factor de carga diario referido a la Potencia Contratada: $F_{c,d}$ que indica el grado de aprovechamiento de la misma.
- Factor de carga diario referido a la Potencia Total Instalada: $F_{c,TI}$ que expresa cómo se utiliza la misma y la inversión económica.
- Horas de Utilización Diarias referidas a la Potencia Contratada .
- Horas de Utilización Diaria Total referida a la Potencia Activa Total Instalada: $H_{ud,P.I}$ [horas].
- Calentamiento normal de los conductores de la red. Se determina, cuando la Intensidad de Corriente Eléctrica, es superior a la admisible del conductor, detectando el valor en amperes y el instante.
- Desequilibrio en las fases. Se determina cuando la corriente registrada tiene valores diferentes, y del sistema supuestamente equilibrado.
- Pérdida Diaria de Energía en Alimentadores ΔW_{ad} [Kwh] y en distribuidores $\Delta W_{d,d}$ [Kwh].
- Factor de Potencia Medio Diarios menores de 0,85. Se determina por la lectura los registros detectando el valor del $\cos\phi_p$ y el instante.
- Tensión recibida. Se determinan los valores y los instantes que la tensión es distinta a la nominal (400-231 [V] cuando la industria se alimenta directamente del transformador y 380-220 [V], cuando se alimenta de la red).
- Sobretensiones. Se determinan cuando la tensión es superior a la nominal.
- Baja Tensión. Se determina cuando la tensión es inferior a la nominal, obteniendo el valor porcentual.

APLICACIONES

Para establecer el método se trabajó en la Red de Distribución de Energía del Complejo Universitario en Castañares, de la U.N.Sa, obteniendo entre otros, los resultados detallados en los siguientes cuadros:

Resumen Anual

Años	Energía Activa [Kwh].	Potencia Contratada P_c [Kw].	Potencia Media	Factor de Carga	Horas de Utilización	Consumo específico anual por alumno [Kwh].
1994	766.888	290	87,54	0,30	2.664	70,88
1995	839.160	290	95,79	0,33	2.893	72,02
1997	949.432	290	98,45	0,34	2.980	73,25

1996: no se poseen los datos completos.

Resumen Semanal

Dias	Energía Activa [Kwh].	Potencia Contratada P _c [Kw].	Potencia Media [Kw].	Factor de Carga	Horas de Utilización	Baja Tensión % y t
Lunes	2.994,53	290	124,77	0,43	10,32	
Martes	3.034,48	290	126,43	0,43	10,46	
Miércoles	3.046,04	290	126,92	0,437	10,50	
Jueves	3.172	290	132	0,45	10,93	6,22 a 11 ^b
Viernes	2.983,17	290	124,3	0,43	10,2	6,02 a 19 ^a 15'
Sábado	1.488,87	290	62,03	0,21	5,13	3,65 a 10 ^b
Domingo	1.099,89	290	45,83	0,16	3,79	

Nota: El Factor de Carga y Horas de Utilización se refieren a la Potencia Contratada. Indica que anualmente el grado de utilización de la P_c es bajo. Diariamente, en los días laborable es mejor. Las bajas tensiones indican mal servicio.

CONCLUSIONES

El método se aplicó a la Red Eléctrica de la UNSa en el sector de alimentadores, y ha permitido obtener conclusiones como las detalladas en la Nota del cuadro anterior, y brindar a la Dirección General de Obras y Servicios datos de funcionamiento. Conjuntamente, se desarrolló un "software amigable para una Red Trifásica de Potencia", como sistema de aplicación, específicamente orientado a la manipulación y clasificación de datos obtenidos a través de la lectura de las mediciones de los parámetros más importantes de tensión, intensidad y potencia de una Red cualquiera, correspondiente a una institución o empresa. Pese a esto se puede extender su prestación a otros ámbitos, donde exista información en forma de archivos que puedan ser convertidos ASCII. Su empleo y el correcto análisis de los datos permite optimizar la Red. Para una mejor interpretación de la lectura de las mediciones se utilizan gráficos de líneas o barras en 2 o 3 D representativos de una o todas las fases. El producto es capaz de procesar y normalizar grandes bloques de datos correspondientes a lecturas de mediciones de 30 o más días de información y es sobre todo, extremadamente sencillo su uso. Las opciones de exportación de datos y gráficos a otras aplicaciones Windows, hace de este software una herramienta muy versátil y práctica.

Para el caso que nos ocupa, la producción de energía eléctrica con los métodos tradicionales (gas, agua y energía atómica) es un proceso por lo general caro y que utiliza en algunos casos recursos no renovables o con una vida útil no mayor a los 50 años. Probablemente no pasará mucho tiempo hasta que se empleen en forma masiva nuevas fuentes de energía, más baratas y no contaminantes que reemplacen a las actuales. Mientras tanto los grandes consumidores deben apuntar al desarrollo de "herramientas" y "políticas" que le permitan un uso adecuado y óptimo de sus necesidades energéticas.

BIBLIOGRAFIA

- H. Buchhold-H.Happoldt, 1985, Centrales y Redes Eléctricas .
- A. E. Kknowlton, 1976, Manual Standard del Ingeniero Electricista
- CEPAL, Manual de Proyectos de Desarrollo Económicos
- P. Marcellic , 1982, Líneas y Redes Eléctricas .
- G.G. Seip, 1988, Instalaciones Eléctricas .

BOMBA DE AIRE COMPRIMIDO PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA ZONA DE VILLA MERCEDES (SAN LUIS)

Jorge Di'Gennaro, Victor Rodrigo*, Adrián Bachiller, Rafael Rodrigo *

*Universidad Nacional de San Luis - Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales
Avenida 25 de Mayo 384 (5730) V.Mercedes - San Luis - Tel. (0657)30954/30980 - Fax (0657)33790
E-mail rodrigo @fices.unsl.edu.ar adrian@fices.unsl.edu.ar rrodrigo@fices.unsl.edu.ar

#Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedernera (5700) San Luis - E-mail solar@unsl.edu.ar

RESUMEN

Se continua con la Bomba de Aire Comprimido presentada en ASADES 97, (pag. N°189 volumen 1 N°2 año 1997), donde se describió su estructura, se explicó su teoría y funcionamiento y se destacaron sus ventajas con respecto a sistemas convencionales de extracción de agua.-

Ahora se presentan los resultados obtenidos con los ensayos realizados con un prototipo.-

FOTOGRAFIAS DEL PROTOTIPO



Fig.N°1: Prototipo funcionando.-

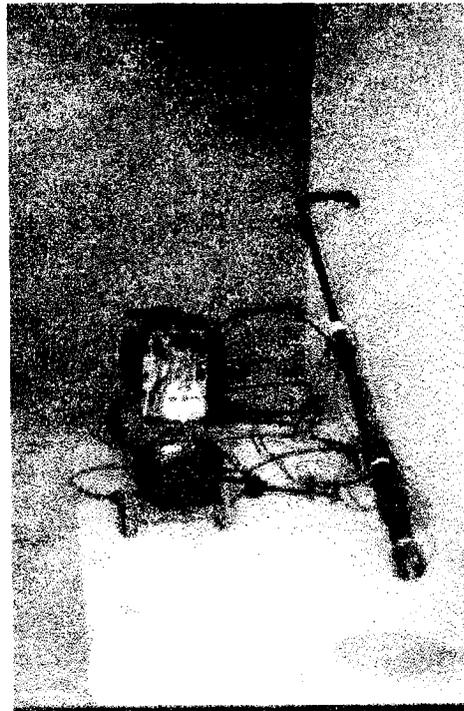


Fig.N°2: Despiece prototipo.-

PROTOTIPO

Se construyó un prototipo, como muestran las fotografías, para poca profundidad, (entre 1 y 15 metros aproximadamente), de modo de hacer ensayos, mediciones, y observar el funcionamiento de las válvulas, con acceso rápido y fácil a todas las partes del dispositivo.-

La fuente de aire comprimido, es el pulmón o depósito de un compresor de 8 atm de presión máxima de carga y una potencia de 1100 W.-

Este pulmón o depósito provee, a través de una válvula reductora de presión, una presión de trabajo, mayor que la máxima necesaria, de modo de mantener el funcionamiento de la bomba por varios ciclos consecutivos; el compresor funciona periódicamente, para reponer la presión de trabajo.-

La cámara y las tuberías de aire y agua, son de caño polipropileno, que pueden ensamblarse a través de roscas para su mejor operatividad (dos niples de 2" (pulgadas), dos cuplas de 2" (pulgadas), un buje reducción de 2" (pulgadas) macho a 3/4" (pulgadas) hembra, una válvula de retención asiento plano de 2" (pulgadas) y una válvula de retención asiento plano de 3/4 " . -

El dispositivo o bomba está sumergido en un tanque de agua de 200 litros, en el cual se mantiene siempre el nivel superior del agua, simulando una perforación.-

Las válvulas de retención y de expulsión son de bronce y de asiento plano o cara planas. Las válvulas de ingreso y egreso del aire comprimido, se controlan a través de contactos de bronce colocados convenientemente en su posición en la bomba y están comandados por los niveles superior e inferior del agua en la cámara o cilindro del dispositivo.-

Los comandos que limitan el nivel superior e inferior del agua en el cilindro funcionan con 24 Vcc (corriente continua) y el cierre o apertura de los mismos es a través del agua, y de allí se comanda un relay inversor, que a su vez comanda la válvula de aire comprimido, para que inyecte o libere de aire comprimido el cilindro del dispositivo.-

Se fueron realizando distintos tipos de ensayos a una misma altura (por ejemplo a 1m, a 6,4m a 13m) y con distintas presiones (0,8atm-1atm-1,2atm-1,5atm-2atm-3atm-4atm) controlando los tiempos y el caudal, como así también la energía consumida para la extracción, para luego poder confeccionar la tabla de valores que se detalla.-

DIMENSIONES

El prototipo se construyó con elementos comunes que se encuentran en el mercado y de polipropileno para su mejor maniobrabilidad.-

Lt = 520 mm – Longitud total del dispositivo.

Lc = 370mm – Longitud de la cámara.-

L = 250 mm – Diferencia de altura entre los niveles superior e inferior en la cámara.-

D = 48 mm – Diámetro interior de la cámara.-

D1 = 19mm – Diámetro de la tubería de elevación de agua.-

Vc = 0,38 l – Volumen de la cámara entre los niveles superior e inferior.-

Vo = 0,00 l – Volumen de la tubería de aire entre la válvula y el dispositivo

1-Transformador de 220 V ca (corriente alternada) a 24 V cc para comando de agua de nivel superior e inferior.-

1-Relay de 24 Vcc doble inversora para comando de válvula de aire comprimido.-

1-Válvula de 220 V ca para comando aire comprimido.-

1-Compresor 220 V ca 1,1 Kw con válvula reductora y reguladora de presión.-

ENSAYOS

Con el Prototipo descripto, se realizaron 11 Ensayos, en los cuales, para distintos valores de;

H (m) = Profundidad.

Pt (atm) = Presión de trabajo (relativa).

C (l/h) = Caudal.

Cc (l) = Caudal por ciclo.

Ec (Wh) = Energía por ciclo.

El (Wh/l) = Energía por litro.

T (seg.) = Tiempo de cada ciclo.

Tp (seg.) = Tiempo pasivo de cada ciclo (no se entrega agua).

Ta (seg.) = Tiempo activo de cada ciclo (se entrega agua)

RESULTADOS

Tabla N°1: Resultado de los 11 ensayos.

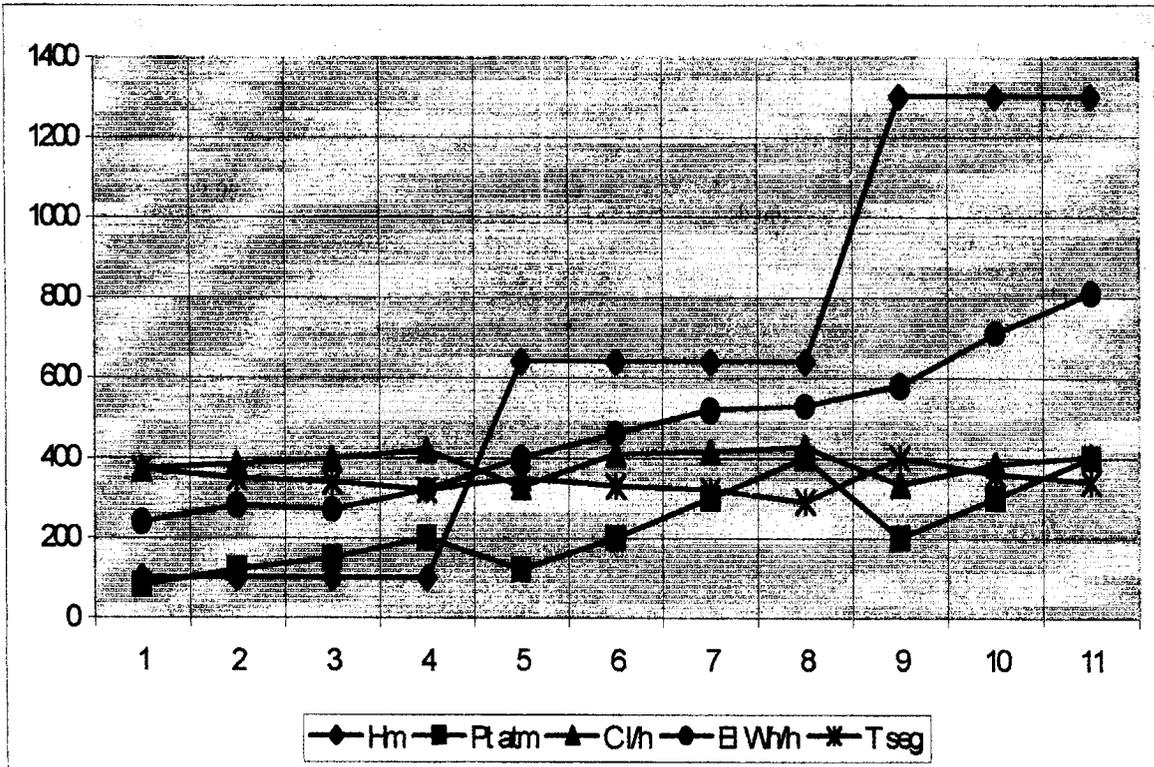
N°	H m	Pt atm	C l/h	Cc l	Ec Wh	EI Wh/l	T seg	Tp seg	Ta seg
1	1	0,8	372	0,38	0,093	0,24	3,7	2,5	1,2
2	1	1,2	384	0,38	0,098	0,28	3,5	2,5	1
3	1	1,5	398	0,38	0,102	0,3	3,4	2,5	0,9
4	1	2	420	0,38	0,123	0,32	3,2	2,5	0,7
5	6,4	1,2	327	0,38	0,143	0,4	3,5	2,5	1
6	6,4	2	410	0,38	0,176	0,46	3,3	2,5	0,8
7	6,4	3	415	0,38	0,2	0,52	3,2	2,5	0,7
8	6,4	4	427	0,38	0,186	0,53	2,9	2,5	0,4
9	13	2	334	0,38	0,22	0,58	4	2,5	1,5
10	13	3	384	0,38	0,27	0,71	3,6	2,5	1,1
11	13	4	404	0,38	0,31	0,81	3,4	2,5	0,9

GRAFICOS

Con la Tabla de Resultados, se trazaron los siguientes Gráficos, en donde en: abscisas va indicado las distintas pruebas (11) que se realizaron, ordenadas se indican:

- Altura de elevación del agua,
- Presión de aire comprimido,
- Caudal de agua por hora,
- Energía de extracción por litro de agua,
- Tiempo de extracción por ciclo.-

Fig. N°3: Gráficos de los resultados de la Tabla N°1.



CONCLUSIONES

La primera y principal conclusión de estos ensayos, es que el dispositivo en general y en particular, las válvulas de control de ingreso y egreso de aire, funcionan correctamente, de acuerdo a lo previsto.-

Los valores de energía consumida por litro de extracción de agua a distintas alturas de elevación son muy superiores a los calculados con el modelo teórico, lo cual se debe a las siguientes causas:

a)-El modelo usado, supone un proceso infinitamente lento, (una sucesión de infinitos estados de equilibrio estático), el cual no tiene en cuenta la energía cinética, ni las pérdidas de energía; en el proceso real las pérdidas son importantes y, para el caso de poca profundidad, son mayores que la energía útil; debemos suponer que son muy importantes las pérdidas locales en las válvulas de retención en la tubería de agua.-

b)-Por otra parte, el uso de una presión de trabajo bastante mayor que la máxima, implica un aumento en las pérdidas, lo cual se refleja en la tabla de resultados.-

c)-Un aumento de la presión de trabajo, produce un aumento de caudal, como surge en la tabla.

Todos estos resultados obtenidos, tanto de caudal como de energía consumida por litro de agua extraída, y de tiempo de extracción, son útiles y necesarios para poder diseñar nuestra fuente de generación de aire comprimido ya sea a través de energía solar como así también de energía eólica.-

Lo importante de este dispositivo o Bomba de Extracción de Agua es la factibilidad de contar con distintas formas de generación de aire comprimido para poder extraer agua, a través de energía solar, eólica, aire comprimido envasado en cilindros, anhídrido carbónico envasado en cilindros, energía eléctrica convencional, y motores de combustión interna, es decir que siempre vamos a contar con algún medio de estos nombrados, para generar aire comprimido y a través de este poder extraer agua.-

Se construyó el prototipo para que pudiera funcionar en un tambor común de PVC de 200 litros con un nivel de agua por encima de la válvula de expulsión de agua de $\frac{3}{4}$ " de 350 mm de altura, de tal modo que siempre se mantenga el nivel estático de la fuente de agua.-

Nuestro próximo objetivo es trabajar con un prototipo de mayores dimensiones tanto en el diámetro como en altura para poder tener mayor volumen de extracción por ciclo, además poder aumentar el nivel de profundidad entre la válvula de retención de expulsión y el nivel estático del agua.-

Se hizo una prueba a 13 metros con caño de expulsión de 12.5 mm de diámetro ($\frac{1}{2}$ " para comprobar si había diferencia de caudal y de consumo de energía a la misma presión de aire, con el caño de expulsión de 19mm ($\frac{3}{4}$ "), no encontrándose ninguna diferencia, llegando a la conclusión de que las mayores pérdidas o mejor dicho las pérdidas más importantes se deben a las válvulas de retención. Para ello está previsto diseñar una válvula de retención en donde el pasaje de agua no sufra pérdidas considerables.-

Existe una íntima relación entre el dispositivo de extracción de agua y la energía solar, ya que el trabajo de investigación nace como trabajo de investigación titulado "Extracción de agua a profundidad mediante energías alternativas" (proyecto N°T-59703), es por ello que dentro del mismo equipo de trabajo una parte se ha dedicado al estudio de la energía solar en Villa Mercedes (Determinación de la radiación solar difusa a partir de la global para Villa Mercedes, pag. 217 volumen I N°1 año 1997 ASADES 97) y la otra al estudio del dispositivo de extracción de agua, a fin de encontrar cual es el consumo de energía para la extracción de agua para distintas profundidades y caudal, y así poder diseñar o seleccionar el panel solar correspondiente.

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS NO CONVENCIONALES EN AREAS RURALES HOMOGÉNEAS DE CARENCIA ENERGÉTICA EN LA REGIÓN NOA¹

Argelia Combetto, Laura Reboratti, Graciela Pelicano, Jaqueline Labourt, Alejandro Benedetti²

Instituto de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires

Puán 470 piso 4-Capital Federal- Tel 432-0606-E-mail: abariffi@ciudad.com.ar

RESUMEN

En el marco de la actual reforma del Estado, la cual está generando la transferencia de desarrollo de infraestructura básica a empresas privadas surge la necesidad de realizar una evaluación desde las Ciencias Sociales, tanto de la situación actual como de los impactos generados por las nuevas políticas en lo relativo al abastecimiento energético en áreas rurales. Para una evaluación de estas características, se debe tener en cuenta, no solo los aspectos técnico-económicos, sino la compleja trama de relaciones sociales establecidas entre los pobladores y estos nuevos actores intervinientes. Este proyecto se plantea como una continuidad necesaria de los estudios que el Grupo de geografía de la Energía viene realizando en los últimos diez años en áreas rurales que carecen de energía eléctrica.

INTRODUCCIÓN

Cada vez con más frecuencia se asocia la disponibilidad de energía de una población con su calidad de vida, ya que la carencia de la primera se convierte en un límite tecnológico que impide el desarrollo sostenible de estas poblaciones

La temática energética en general y la vinculada a las áreas rurales en particular, es abordada mayoritariamente desde los aspectos puramente técnicos. Asimismo, las cuestiones ambientales son analizadas haciendo hincapié en los aspectos físicos, muchas veces vinculados a problemáticas sociales. Son escasos los trabajos que analizan la problemática de la población rural considerando tanto los aspectos ambientales y socioeconómicos como las cuestiones tecnológicas vinculadas, para desde un análisis integrado poder aportar propuestas o alternativas abarcadoras y no segmentadas.

Durante los años 1995-97, este grupo de trabajo desarrolló el proyecto "**Energías no convencionales en el NOA. Áreas prioritarias de aplicación**". Que contó con subsidio UBACYT. El propósito de dicho proyecto fue identificar en la región NOA las áreas sin posibilidades de abastecimiento eléctrico convencional, cuantificar la población en ellas involucradas y analizar sus características socioeconómicas. Para ello se construyó una base de datos con información poblacional, socioeconómica, ambiental y energética. Dicha base se incorporó a un sistema de información geográfica que permite el análisis interactivo de la información.

De este modo se pudo comprobar que en la región NOA unas 450.000 personas carecían de energía eléctrica. Se trata de población rural que, por su grado de dispersión y su distancia a los sistemas de redes no tiene posibilidades de ser abastecida ni aún en el mediano plazo por el sistema eléctrico convencional

La mayor parte de esta población se encuentra en dos grandes áreas que presentan un alto grado de homogeneidad a su interior de sus características socioeconómicas y que incluyen amplias zonas de varias provincias. Estas dos regiones son la Puna de Jujuy, Salta y Catamarca, por su condición de aislamiento y el Monte Chaqueño de Salta y Santiago del Estero, que por características similares abarca los Llanos de la Rioja y el este de Catamarca,

¹ Proyecto con Subsidio UBACYT Período 1998-2000

² Grupo de Geografía de la Energía

esta última área reúne el 51% de la población sin energía de la región NOA³.

Durante el desarrollo de nuestra investigación, a partir del nuevo marco regulatorio eléctrico (Ley 24.065) la Secretaría de Energía de la Nación elaboró el "Programa de Abastecimiento Eléctrico a la Población Rural Dispersa de Argentina (PAEPRA)". Este programa está orientado a abastecer la demanda básica (iluminación y comunicación social) del sector residencial rural y de los servicios públicos rurales (escuelas, destacamentos policiales y puestos de salud), utilizando prioritariamente tecnologías que usen fuentes de energías renovables (Fotovoltaica, eólica, microhidráulica e híbridos). El programa se implementará a través de la concesión de los servicios eléctricos de una provincia a una o más empresas particulares que deseen hacerse cargo del abastecimiento a la población rural. El financiamiento de la inversión necesaria para alcanzar los objetivos del Programa, requieren del aporte de los usuarios, a través del pago de un derecho de conexión y de una tarifa mensual, del concesionario, 3) de las provincias y del Estado Nacional. La existencia de subsidios nacionales y provinciales se hace imprescindible como consecuencia que las tarifas a los usuarios no permiten el recupero de los costos de inversión y de operación y mantenimiento de estos servicios ya que los mismos pertenecen en un alto porcentaje al grupo de población de menor poder adquisitivo

El abastecimiento del sector productivo rural no está contemplado específicamente en este Programa y queda librado a la contratación del servicio entre los usuarios y el concesionario.

Las provincias que integran el NOA (Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja, Santiago del Estero y Tucumán) se encuentran actualmente en distintas situaciones:

- La provincia de Jujuy ya ha sido concesionada con la diferenciación de los dos mercados (Concentrado y Disperso). La empresa concesionaria ya ha comenzado a satisfacer las demandas provenientes de la población rural
- La provincia de Salta, en similar condición a la anterior, con la diferencia de que el Gobierno de la Provincial prioriza el abastecimiento de los servicios públicos.
- Las provincias de Santiago del Estero y Tucumán han concesionado su sistema eléctrico con la totalidad del territorio pero con obligación de prestar servicio tan solo a 500 metros de la actual red de distribución
- Catamarca a concesionado su mercado eléctrico concentrado pero aún no el disperso, si bien la ley marco provincial previó la creación de este último
- La Rioja actualmente ha llamado a licitación para la concesión del mercado disperso con la particularidad que se incluye el abastecimiento de agua.

Como se puede observar el conjunto de provincias de la región NOA atraviesan un proceso de privatizaciones que involucran a los servicios eléctricos de las áreas rurales priorizando (a través de subsidios) el abastecimiento para usos domésticos con el propósito de mejorar la calidad de vida de la población. Aún en las provincias que ya han privatizado sus mercados dispersos este proceso es muy reciente y por lo tanto no fue posible evaluarlo en nuestra investigación anterior y evidentemente el abastecimiento eléctrico a la población alterará las condiciones de homogeneidad socioeconómica de sus habitantes. Es en este contexto que nos proponemos encarar una nueva investigación con los siguientes objetivos:

OBJETIVOS GENERALES

1. Realizar un diagnóstico concurrente de los impactos sociales generados, en el conjunto de las provincias de la región NOA, por el proceso de privatización mencionado.
2. Elaborar un menú de tecnologías energéticas apropiadas para cada área, de acuerdo a sus características tanto ambientales como socioeconómicas, con vistas a ser incorporado en planes de desarrollo productivo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los actores sociales involucrados en el proceso de incorporación de nuevas tecnologías energéticas en cada "área homogénea de carencia energética"
 2. Identificar los distintos circuitos comunicacionales y los flujos de información, en relación con la oferta y el requerimiento de soluciones tecnológicas, que se generan en dichas áreas, detectando los principales nodos institucionales (escuelas, centros parroquiales, comisiones municipales, asociaciones de productores, etc.)
1. Reconstruir el inventario de tecnologías energéticas aplicadas por la comunidad discriminando entre las que incorpora para usos productivos y para usos domésticos

³ Las características socioeconómicas de la población de estas áreas se presentan en la ponencia " " presentada en esta Reinen

2. Identificar el paquete tecnológico aplicado desde las empresas responsables de la privatización.

HIPÓTESIS

- El Programa de abastecimiento Eléctrico a la Población Rural Argentina contempla el aprovisionamiento de energía para usos domésticos lo que contribuirá a una notable mejora de la calidad de vida
- La concurrencia coordinada de los diferentes actores e instituciones en proyectos de desarrollo, contando con la participación activa de las comunidades, podrá generar un uso racional de los recursos tanto financieros como ambientales.
- Entre los distintos nodos que integran los circuitos comunicacionales, la escuela suele ser uno de los principales, particularmente en lo referido a la difusión y aplicación de innovaciones tecnológicas.

METODOLOGÍA

1. Identificación, relevamiento y sistematización de la documentación generada en el proceso de privatización de los servicios eléctricos provinciales (leyes del marco regulatorio, pliegos de licitación, contratos de concesión, etc.)
2. Identificar a nivel regional los actores involucrados en el desarrollo de políticas de energización a través de la búsqueda de material de archivo y de entrevistas en profundidad con los principales representantes.
3. Ampliar la base de datos georeferenciada que se viene desarrollando, con la información referida a los nodos institucionales, las áreas de influencia de los distintos actores, los circuitos comunicacionales y los flujos de información. El resultado final será la construcción de mapas temáticos que den cuenta tanto de la oferta de soluciones tecnológicas como del requerimiento, por parte de las comunidades, para paliar las carencias energéticas.
4. En las comunidades seleccionadas se realizará el seguimiento de la incorporación de nuevas tecnologías a través de encuestas, entrevistas en profundidad, historias de vida y tareas de observación. Con esta información se pretende analizar los impactos generados en el proceso de privatización de los servicios eléctricos, así como identificar las distintas opciones tecnológicas utilizadas tradicionalmente y las recientemente incorporadas.
5. Realizar análisis comparativo de las diferentes estrategias de privatización así como de implementación tecnológica tanto por parte de los organismos públicos como de las organizaciones comunales.
6. A partir de dicho análisis construir propuestas tecnológicas alternativas que contemplen los vacíos detectados a efectos de ser sometidas a consideración de las distintas comunidades.
7. Realizar un abordaje específico en los establecimientos educacionales de las comunidades seleccionadas, con el objeto de determinar el rol desempeñado por dichas instituciones en el proceso de innovación tecnológica. Para ello se realizarán entrevistas en profundidad con docentes y alumnos de los últimos años.
8. A partir de la evaluación del rol desempeñado por la escuela, se prevé confeccionar material didáctico y organizar reuniones informativas entre miembros de este grupo de trabajo, docentes y alumnos de los establecimientos. De esta forma se realizará una transferencia de conocimientos hacia las comunidades introduciendo nuevas posibilidades de aplicaciones tecnológicas a través del aprovechamiento de los recursos naturales locales.

BIBLIOGRAFÍA

- AAVV (1993) Educación Ambiental y Escuela Rural. Memoria y Ponencia del Seminario Regional Sobre Educación Ambiental en Escuelas Rurales Andinas. Salta.
- Cafferata, Agustín (1988) Area de frontera de Tartagal. Marginalidad y Transición. CFI, Buenos Aires.
- Carabias, Julia; Provencio, Enrique y Toledo, Carlos. (1994) Manejo de los Recursos Naturales y Pobreza Rural FCE. México
- Combetto, Argelia (1994) Desarrollo Sustentable y Energías no Convencionales. En revista de la Asociación Electrotecnia Argentina N 4 octubre. Bs.As.
- Combetto, Argelia; Reboratti, Laura y otros. (1994) Energización Rural en Zonas Marginales. Propuesta Metodológica para el Estudio de Caso. En Actas de XVI Reunión de Trabajo de ASADES. La Plata. Septiembre
- Fabris, A; Servant, M; Gallo, R y otros (1995) Abastecimiento Eléctrico de la Población Rural Dispersa de Argentina. En Energía para el Futuro Año XII N° 71

Isla, Alejandro (1992) Sociedad y Articulación en las Tierras Altas Jujueñas. Crisis Terminal de un Modelo de Desarrollo. M.L.A.I. San Salvador de Jujuy.

Manzanal, Mabel (Comp.) (1996) El desarrollo Rural del Noroeste Argentino-Antología-Proyecto GTZ-Desarrollo Agroforestal en Comunidades Rurales del Noroeste Argentino. Salta

Pais, Alfredo L. (1991) Municipio Rural y Estrategias de Intervención con Pequeños Productores del Noroeste : Desarrollo Forestal participativo en los Andes. FAO. Series Memorias N*8. Buenos Aires

EVALUACION DE CALIDAD AMBIENTAL DE EDIFICIOS: CONFORT Y EFICIENCIA ENERGETICA SEGUN VARIABLES BIOCLIMATICAS Y COMPACIDAD EDILICIA

Silvia de Schiller, Luciana Gaidimauskas, Santiago Torres
 Centro de Investigación Hábitat y Energía, SICyT, FADU, UBA
 Casilla de Correo 1765 (1000) Capital Federal, Argentina. Fax: 576 - 3205 E-mail: schiller@fadu.uba.ar
 Juan Carlos Silva Saldaña
 Facultad de Arquitectura, Universidad de la República, Regional Norte, sede Salto, R. O. del Uruguay
 Artigas 1251 (50000) Salto, Uruguay. Fax: (0598 73) 2 9149 E-mail: jsilva@unorte.edu.uy

RESUMEN

Este trabajo se orienta al desarrollo de métodos de evaluación edilicia en relación con la eficiencia energética y la optimización de estrategias de diseño bioclimático para lograr confort por medios naturales y menor impacto ambiental. Se partió de la evaluación de un caso real, el proyecto de un edificio escolar en clima cálido y moderada amplitud térmica (Zona IIb), estudiando luego alternativas de proyecto con sus respectivas evaluaciones con fines comparativos. El análisis de compacidad edilicia fue factor importante de evaluación, compatibilizando las pérdidas de calor invernal con los requerimientos de ventilación, protección solar estival y uso del espacio exterior en función de las características climáticas del lugar. Se estudiaron soluciones variando la distribución de la planta, manteniendo los elementos constructivos y considerando la habitabilidad de espacios exteriores útiles.

INTRODUCCION

El objetivo del trabajo es verificar el efecto de alternativas de diseño en el impacto ambiental y calidad de vida del edificio con indicadores bioclimáticos sencillos. Tomando como caso el edificio de la Escuela Nro.92 ya construido en Salto, Uruguay, se realizaron estudios a fin de determinar su comportamiento bioclimático. Se trató de determinar la incidencia de la forma edilicia en el comportamiento bioclimático a fin de desarrollar una metodología de evaluación de calidad ambiental. Se realizaron análisis similares adoptando distintas distribuciones de planta con igual superficie de aulas y resolución constructiva, para su evaluación comparativa. Los factores bioclimáticos fueron analizados con el instrumental del Laboratorio de Estudios Bioambientales del CIHE, evaluando las siguientes condiciones, tanto dentro del edificio como en los espacios exteriores habitables: 1. Asoleamiento (protección y captación solar) mediante el Heliódón; 2. Ventilación (aprovechamiento de brisas, ventilación y protección de vientos) en el túnel de viento; 3. Iluminación natural, en el cielo artificial; 4. Comportamiento térmico-energético, mediante programas de simulación por ordenador. 5. Relación interior-exterior. Se observaron además factores tales como visuales, vegetación, etc. Tratándose de un clima cálido con moderada amplitud térmica, se privilegiaron las estrategias bioclimáticas de protección solar y ventilación cruzada.

ESTUDIO DE CASO

Características generales del proyecto evaluado

Localidad: SALTO Lat: 31° 18' sur	Invierno	Verano
Temperatura máxima (°C)	17,8	30,6
Temperatura media (°C)	12,3	24,1
Temperatura mínima (°C)	7,5	17,9
Humedad relativa (%)	77	65
Precipitaciones (mm)	75	122
Vientos (km/h)	15	13

Tabla 1. Datos climáticos

El proyecto consiste en un edificio compacto de una planta de perímetro libre, un pequeño patio interior de servicio y doble circulación con aulas de orientaciones opuestas (SE y NO). Las aberturas principales de las aulas se ubican en las fachadas y otras secundarias en los lados opuestos sobre pasillos. Las dos aulas cercanas al acceso (SO) presentan aberturas al O y S.

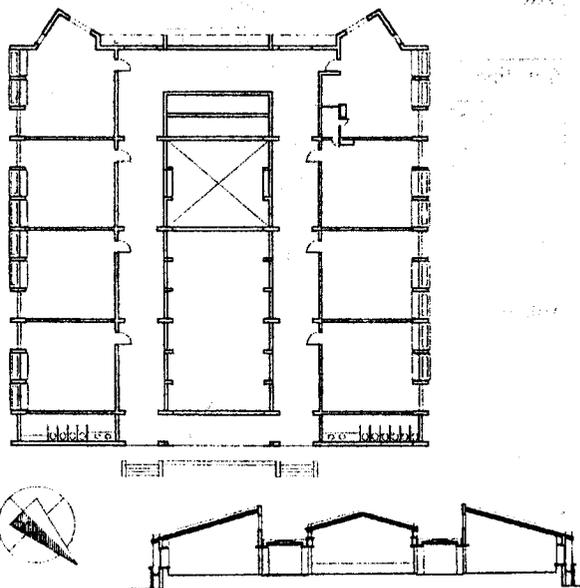


Fig. 1 Proyecto original. Planta y corte.

La resolución de cada elemento constructivo se detalla en la tabla 2, junto con los valores de resistencia térmica y espesor de cada uno.

Item	Resolución constructiva	Rt (m ² K/W)	Esp. (cm)
Muros ext.	Doble muro ladrillo común ext. a la vista int. revocado, capa de mortero intermedia	0,481	26
Cubierta	H ^o A ^o c/revoque int., poliestireno exp., cámara de aire, chapa de hierro galvanizado	1,415	16
Aberturas	Carpintería de aluminio; vidrio común transparente	0,170	0,5
Piso	Contrapiso H ^o A ^o ; terminación baldosas cerámicas	0,411	10

Tabla 2. Datos constructivos

1. Asoleamiento

Se realizaron estudios mediante el Heliódón, para invierno y verano, analizándose la penetración solar en las aulas con orientaciones SE y NO.

Orientación	Invierno	Verano	Observaciones
NO	6 hs	2 hs	Ver.: 2hs. de captación por las aberturas pequeñas superiores orientadas al SE
SE	-	2 hs	Inv.: 6hs. de captación por ventanas superiores al NO Ver.: 5hs. idem.

Tabla 3. Penetración solar en las aulas, simulación realizada en el Heliódón del LEB.

La simetría de la planta provoca situaciones diferentes en las aulas según su orientación. Al NO tienen mejor captación pero padecen problemas de deslumbramiento al no prever control del sol bajo del O. Las aulas orientadas al SE tienen menor ganancia solar pero una mejor distribución de la luz. La iluminación de los corredores resulta insuficiente y parcial según su cercanía al patio de servicio.

2. Viento y ventilación.

Los vientos predominantes en Salto durante el invierno provienen del S, y durante el resto del año del NE. El acceso al SO queda expuesto a los vientos de invierno no previéndose ningún tipo de protección. La disposición de la planta dificulta la captación de brisas en verano para la ventilación de aulas y circulaciones, estrategia necesaria en un clima cálido-húmedo. Estudios en el túnel de viento demostraron que las turbulencias en el patio interior no son significativas. Siendo éste el único espacio exterior protegido no se ha previsto para el desarrollo de actividades. Se generan, en cambio, corrientes a lo largo de los corredores ubicados en el sentido de los vientos predominantes, que no han sido debidamente controladas.

3. Iluminación natural.

Para verificar niveles de iluminación natural en el interior de las aulas, se realizaron dos evaluaciones: una mediante estudios con maqueta en el cielo artificial del CIHE, y otra con simulaciones por ordenador. Las mediciones en el cielo artificial dieron un valor medio de factor de luz de día $F_d=3,7\%$. La Norma IRAM AADL J 20-24 recomienda un $F_{d\min}=2\%$. Por medio del programa Daylight se determinó que aumentando la reflectancia de paredes a 0,7 y del cieloraso a 0,8 se obtiene un $F_{d\min}=1,5\%$, valor aceptable dada la alta luminosidad del cielo en Salto.

4. Comportamiento térmico.

Para determinar el comportamiento térmico de la escuela se aplicó el programa QUICK. Los resultados obtenidos de las temperaturas y horarios analizados en un aula tipo se indican en la siguiente tabla:

Alternativa	Invierno				Verano			
	tmáx.	hs	tmin.	hs	tmáx.	hs	tmin.	hs
Aula tipo NO	22,8	16	16,3	7	31,0	15 - 16	26,2	8
Aula tipo SE	20,8	16	14,9	7	29,8	15 - 16	26,2	8
Aula tipo NO 1 (ventilación)	21,8	16	15,6	6	28,5	16	22,8	6
Aula tipo NO 2 (calefacción)	23,4	16	16,5	6	-	-	-	-
Aula tipo NO 3 (aislación)	22,4	16	16,6	6	29,9	15 - 16	26,3	8

Tabla 4. Comp. térmico, simulado mediante el programa Quick.

Aula tipo NO 1: Ver.: Se aumenta la ventilación nocturna a 10 Rph entre las 21 y las 7 horas, reduciendo la ventilación diurna a 2 Rph durante las horas de clase. Inv.: Es necesario accionar los calefactores y las luces una hora antes del comienzo de clases.

Aula tipo NO 2: Es necesario aumentar entre las 8 y las 12 horas la carga de calefacción a 8 Kw para alcanzar una temperatura de 20 ° C de confort durante toda la jornada de clases.

Aula tipo NO 3: Es necesario incorporar aislación para mejorar el desempeño en invierno.

5. Espacios exteriores y relación interior-externo.

El patio interior es de uso secundario y no ofrece expansión a las aulas. El terreno no posee vegetación propia y se desconoce si fue prevista como factor microclimático. La distribución de las funciones favorece las visuales de las aulas al NO. La relación con el espacio exterior, de uso indefinido, se da a través de una sola salida, sin patio común ni expansiones propias de las aulas.

EVALUACION DEL PROYECTO

Caso de estudio	Promedio diario
Protección solar estival	5 hs Las aulas al SE reciben sol del NO por su aventanamiento superior
Captación solar invernal	4,5 hs Debido a que la mitad de las aulas se orientan al SE
Captación de brisa estival	La compacidad del edificio impide la óptima captación de brisas en sus locales
Protección de viento invernal	No se generan espacios exteriores protegidos con usos definidos
Comportam. térmico	Pérd. vol. por transmisión: 1,16 W/m ³ K Pérd. vol. por infiltración: 0,861 W/m ³ K G calculado: 2,021 W/m ³ K Consumo anual: 63730,26 Kw/h
Relación Interior-Exterior	No existen espacios intermedios tratados previstos para el desarrollo de actividades. Sólo 50% de las aulas se relacionan con el exterior.

Cuadro 1. Resumen de evaluación bioclimática.

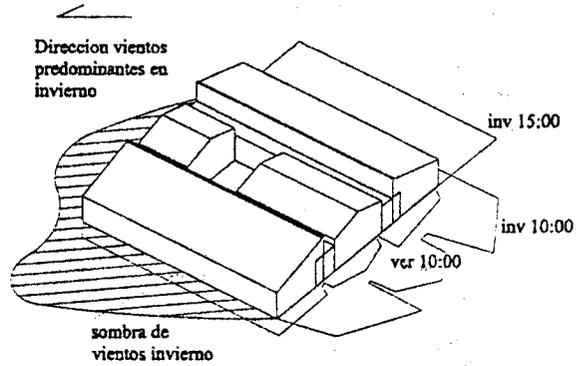


Fig. 2 Caso de estudio. Asoleamiento y viento en espacios exteriores.

Evitar la sobreexposición solar al NO incorporando medios de control: extensión de aleros, vegetación de hojas caducas, etc. Las barreras vegetales pueden además controlar el viento.

ANALISIS DE VARIANTES DE DISEÑO

Se analizaron diversas morfologías variando compacidad, superficie total, distribución en planta y orientación de las aulas. De los resultados comparativos se tomaron tres casos significativos, con distintos grados de compacidad para observar su relación con las variables bioclimáticas estudiadas.

- Caso 1.** Máxima compacidad. Se elimina una de las circulaciones y el patio de servicio, reduciendo la superficie construida. Asimismo se redistribuyeron las otras funciones, manteniendo la doble orientación de las aulas.
- Caso 2.** Mayor superficie de patio central y redistribución de circulaciones. Todas las aulas se orientan al N con relación directa al patio. El resto de las funciones, con orientaciones menos favorables, conforman un patio.
- Caso 3.** Volumetría abierta. Las aulas se orientan al N y las demás funciones se agrupan en un volumen que vincula los dos bloques lineales de aulas. Se crea un área de acceso y otra de actividades recreativas con expansión de las aulas.

EVALUACION DE VARIANTES DE DISEÑO

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Protección solar (verano)	7,5hs. Las aulas al SE prácticamente no reciben sol	6hs. Todas las aulas se orientan al NO	6hs. Todas las aulas se orientan al NO
Captación solar (invierno)	3hs. Muy baja debido a la orientación SE del 50% de aulas	5,4hs. Buena. Sólo son perturbadas algunas aulas	6hs. Muy buena debido a que todas las aulas se orientan al NO
Captación brisas (verano)	La compacidad del edificio impide la ventilación cruzada	Las dimensiones del patio no permiten la captación óptima	La distribución de los locales favorece la ventilación cruzada
Protección viento (invierno)	No se generan espacios exteriores protegidos	Se generan espacios exteriores protegidos, en particular el patio.	Los espacios exteriores para recreación se encuentran protegidos
Comportamiento térmico	Pérd. vol. por transmisión: 0,881 W/m ³ K Pérd. vol. por infiltración: 0,547 W/m ³ K G calculado: 1,428 W/m ³ K Consumo anual: 44394,132 Kw/h	Pérd. vol. por transmisión: 1,348 W/m ³ K Pérd. vol. por infiltración: 0,861 W/m ³ K G calculado: 2,209 W/m ³ K Consumo anual: 69669,382 Kw/h	Pérd. vol. por transmisión: 1,325 W/m ³ K Pérd. vol. por infiltración: 0,861 W/m ³ K G calculado: 2,185 W/m ³ K Consumo anual: 68924,129 Kw/h
Relación Interior-Exterior	No existen espacios intermedios tratados para el desarrollo de actividades. Sólo el 50% de las aulas se abren al espacio exterior	El patio interior adquiere proporciones adecuadas para el desarrollo de actividades. 100% de las aulas relacionadas con el exterior	Se crean dos áreas, una de acceso y otra de recreación. 100% de las aulas se relacionan con el exterior.

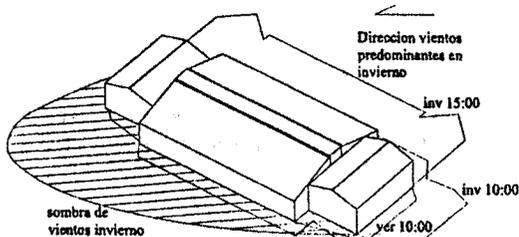


Fig. 3 Caso 1. Asoleamiento y viento en espacios exteriores.

Caso 1. Se debería prever una captación solar e iluminación cenital, dado que las aulas orientadas al SE reciben escasa radiación solar. Debido a la reducción del perímetro hay menos pérdidas a través de la envolvente. El comportamiento energético es satisfactorio en detrimento de la falta de ventilación interior y de espacios protegidos (sol en verano, viento en invierno) en el exterior.

Caso 2. Permite mejor iluminación y captación solar en todas las aulas. Las mayores dimensiones del patio generan un espacio exterior útil, controlado y habitable en contacto con las funciones desarrolladas en el interior del edificio.

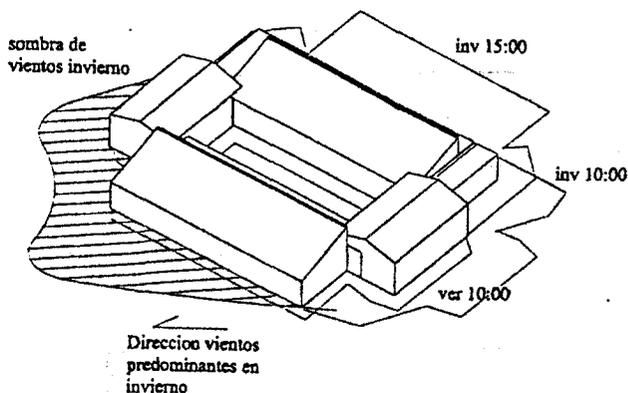


Fig. 4 Caso 2. Asoleamiento y viento en espacios exteriores.

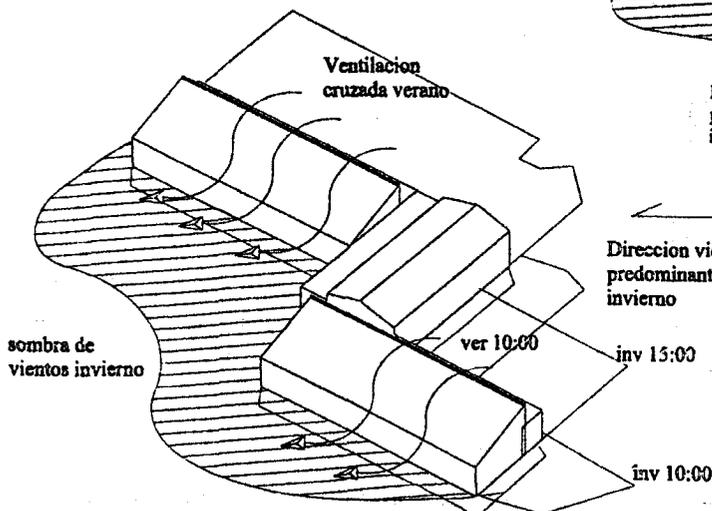


Fig. 5 Caso 3. Asoleamiento y viento en espacios exteriores.

Caso 3. Mejora en la relación interior - exterior de ambos bloques de aulas. Se generan dos situaciones de espacios exteriores: una, de acceso, y la otra, para recreación en relación directa con las aulas. La menor compacidad del edificio permite optimizar la ventilación cruzada.

CONCLUSIONES

Al analizar la eficiencia energética en edificios, se ha observado la necesidad de compatibilizar los resultados del balance energético con los requerimientos funcionales y de confort propios de cada región. Se deberían entonces evaluar en forma conjunta las diversas estrategias y pautas de diseño para lograr condiciones apropiadas en los espacios interiores y exteriores. Se considera que el aporte más importante de este trabajo radica en la instrumentación metodológica que permite compatibilizar el concepto de compacidad edilicia y eficiencia energética con variables bioclimáticas durante la etapa de proyecto, teniendo en cuenta las estrategias de diseño más adecuadas a las características climáticas del emplazamiento.

ETAPAS FUTURAS

En etapas futuras, está prevista la realización de mediciones en el edificio construido a fin de convalidar los resultados obtenidos con programas de simulación y el diagnóstico resultante de evaluaciones en laboratorio, con el heliodón, túnel de viento y cielo artificial.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Evans, J. M. y de Schiller, S. (1991) *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*, Serie Ediciones Previas, FADU, UBA.
 Eguía, S. (1995) Confort en climas frío-ventosos. Evaluación de tipologías para conjuntos de viviendas. En *Anais I Encontro Latino-Americano Conforto no Ambiente Construido*, Gramado, Brasil.
 Sartorio, J., Evans J. M. (1997) Energy efficient design of health facilities in southern Patagonia: Comparative study of building typologies. En *Proceedings of the 14th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Kushiro, Japón.
 Instituto de Racinalización de Materiales (1997) *Norma IRAM 11604, Acondicionamiento Térmico de Edificios. Ahorro de Energía en Calefacción*. Instituto de Racinalización de Materiales, Buenos Aires.

NOTA

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación 'Arquitectura sostenible: desarrollo de un sistema de evaluación' con financiación de la SECYT-UBA, y se relaciona con la Beca de Iniciación UBA 'Edificios sustentables: concepto de compacidad arquitectónica y eficiencia energética'

ANÁLISIS TERMICO-AMBIENTAL DE UNA VIVIENDA DE PERIMETRO RECORTADO Y OTRA COMPACTA EN CLIMA FRIO VENTOSO PUERTO MANZANO-VILLA LA ANGOSTURA

Juan Carlos Ariel Cavilli y Silvia de Schiller

Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo,
 Universidad de Buenos Aires CC 1765, Correo Central (CP 1000), Capital Federal, Argentina
 Tel. (01) 576-3209 Fax. (01) 576-3205 E-mail: Schiller@fadu.uba.ar

RESUMEN

El análisis está basado en la comparación de dos tipologías distintas para Puerto Manzano (Villa La Angostura). Una de ellas es de perímetro recortado, favoreciendo la idea de captación solar; mientras que la otra es una vivienda compacta, respondiendo al concepto de minimización de pérdidas de calor. Si bien la comparación está centrada en el aspecto de la eficiencia térmica, se incluyen otros temas vinculados: Costo económico. Formas de uso de los espacios exteriores e interiores. Problemática de la orientación y vistas. Problemática en la estratificación del calor.

INTRODUCCION

Con la comparación de dos tipologías de vivienda, este trabajo plantea ampliar y compatibilizar las variables energético-térmicas a decisiones de diseño más generales, involucrando lo ambiental. Dichas decisiones valoran el uso vital del espacio exterior, los espacios intermedios y el propio interior (Evans y de Schiller, 1994).

PARAMETROS TERMICOS DE COMPARACION

1) Valores de transmitancia térmica para los elementos constructivos ($K=w/m^2 \cdot ^\circ K$): Muros de madera tipo balloon frame con 10 cm. de poliestireno expandido $K=0.28$; techos livianos con 10 cm. de poliestireno $K=0.26$; piso con 5 cm. de poliestireno en toda la superficie calefaccionada $K=0.47$; ventanas al sur con doble vidrio y postigo $K=2.03$; ventanas N, E y W con un vidrio y postigo $K=2.62$; ventanas int. y ext. en invernadero con doble vidrio y cortina interior $K=3$ (Norma IRAM 11.601). 2) C.N.C.P. : Coeficiente neto de pérdidas de calor. 3) C.G.P. : Coeficiente global de pérdidas (G). 4) C.C.C. : Cociente carga colector. 5) F.A.S. : Fracción de ahorro solar. (Fabris y Yarke, 1985) 6) Calor auxiliar anual. 7) Ahorro energético traducido en ahorro económico.

TIPOLOGIA DE PERIMETRO RECORTADO (3 DORM.) UBICADA EN EXTREMO (A)

Envolvente: 375 m² / Sup. calefaccionada: 113 m² / Volumen calefaccionado: 293.80 m³ / 3682 Grados días

Tabla 1. Cálculo de pérdidas para tipología de perímetro recortado

CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES				
ELEMENTOS	AREA S(m ²)	CONDUCTANCIA TERMICA Km(w/m ² °K)		S x Km (w°K)
MUROS NE Y NW	25.08	0.28		7.02
MUROS SW Y SE	42.78	0.28		11.97
CUBIERTA	113	0.26		29.38
CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES				
ELEMENTOS	S (m ²)	Kv (w/m ² °K)		S x Kv (w°K)
VENTANAS SE	3.90	2.03		7.91
VENTANAS NE Y NW	6.90	2.62		18.07
OTROS CERRAMIENTOS (a locales no calefaccionados)				
ELEMENTOS	S (m ²)	γ (factor de corrección)	Kr (w/m ² °K)	S x γ x Kr (w°K)
MUROS A INVERNADERO	13.40	0.76	0.28	2.85
VENTANAS A INVERN.	11.00	0.76	3.00	25.08
MEDIANERA A VECINO	12.74	0.30	0.28	1.07
MURO A GARAGE	18.20	0.66	0.28	3.36
PUERTA A GARAGE	1.60	0.66	0.71	0.74
MURO A ANTECAMARA	7.36	0.59	0.28	1.21
PUERTA A ANTECAMARA	1.80	0.59	0.71	0.75
PISOS EN CONTACTO CON EL TERRENO	Perímetro (m)	Pp (w/m°K)		Pérdida (w°K)
	41.30	1		41.30
RENOVACIONES AIRE POR INFILTRACION	N	Pérdidas (w/m ³ °K)		
	1	0.35 x n = 0.35		
PERDIDAS POR TRANSMISION = 150.71 w°K				
PERDIDAS VOLUMETRICAS POR TRANSMISION = 150.71 w°K / 293.80 m³ = 0.51 w/m³°K				
G calculado = 0.51 w/m³°K + 0.35 w/m³°K = 0.86 w/m³°K < G admisible = 1.69 w/m³°K				

C.C.C. = C.N.P.C./A.C.

A.C. = área colectora

$$= 210.39 \text{ w}^\circ\text{K} / 49.20 \text{ m}^2 = 4.27 \text{ w/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

Tabla 2. Cálculo de la fracción de ahorro solar (F.A.S.)

SISTEMA SOLAR PASIVO	AREA (m ²)	REL. PORCENTUAL (A/ACT)	F.A.S.	F.A.S. ponderada
INVERNADERO	42.30	0.86	0.491	0.422
GANANCIA DIRECTA	6.90	0.14	0.386	0.054
TOTAL	49.20	1.00		0.476

Energía auxiliar anual = 3682 GD x 210.39 w^oK x 0.524 x 0.024 = 9740.68 Kwh/año

Tubos de gas de 45Kg necesarios : 16.62

M3 de gas necesarios : 900.24

Ahorro energético = tubos de gas x F.A.S. = 16.62 x 0.476 = 7.91 tubos/año = \$ 316.40.-/año

Se considera \$ 40.- por cada tubo de gas.

TIPOLOGIA COMPACTA (3 DORM.) (B)

Envolvente: 249.40 m² / Sup. calefaccionada: 96 m² / Volumen calefaccionado: 295.35 m³ / 3682 GD

Tabla 3. Cálculo de pérdidas para tipología compacta (Norma IRAM 11.604)

CERRAMIENTOS OPACOS EXTERIORES

ELEMENTOS	AREA S(m ²)	CONDUCTANCIA TERMICA Km(w/m ² *K)	S x Km (w ^o K)
MUROS S	31.62	0.28	8.85
MUROS W	21.50	0.28	6.02
MUROS N	15.00	0.28	4.20
CUBIERTA	66.40	0.26	17.26

CERRAMIENTOS NO OPACOS EXTERIORES

ELEMENTOS	S (m ²)	Kv (w/m ² *K)	S x Kv (w ^o K)
VENTANAS N	11.60	2.62	30.40
VENTANAS S	4.38	2.03	8.90
VENTANAS W	1.50	2.62	3.93

OTROS CERRAMIENTOS (a locales no calefaccionados)

ELEMENTOS	S (m ²)	γ (factor de corrección)	Kr (w/m ² *K)	S x γ x Kr (w ^o K)
VENT. A INVERNADERO	10.20	0.67	3.00	20.50
MUROS A INVERNADERO	3.75	0.67	0.28	0.70
MEDIANERA A VECINO	43.31	0.30	0.28	3.63
MUROS A GARAGE	12.60	0.78	0.28	2.75
MUROS A ANTECAMARA	5.40	0.85	0.28	1.28
PUERTA A ANTECAMARA	1.60	0.85	0.71	0.96

PISOS EN CONTACTO CON EL TERRENO	Perímetro (m)	Pp (w/m ^o K)	Pérdida (w ^o K)
	11.55	1	11.55
RENOVACIONES AIRE POR INFILTRACION	N	Pérdidas (w/m ³ *K)	
	1	0.35 x n = 0.35	

PERDIDAS POR TRANSMISION = 120.93 w^oK

PERDIDAS VOLUMETRICAS POR TRANSMISION = 120.93 w^oK / 295.35 m³ = 0.41 w/m³*K

G calculado = 0.41 w/m³*K + 0.35 w/m³*K = 0.76 w/m³*K < G admisible = 1.69 w/m³*K

C.C.C. = C.N.P.C./A.C.

A.C. = área colectora

$$= 169.47 \text{ w}^\circ\text{K} / 32.60 \text{ m}^2 = 5.19 \text{ w/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

Tabla 4. Cálculo de la fracción de ahorro solar (F.A.S.)

SISTEMA SOLAR PASIVO	AREA (m ²)	REL. PORCENTUAL (A/ACT)	F.A.S.	F.A.S. ponderada
INVERNADERO	21.00	0.644	0.46	0.296
GANANCIA DIRECTA	11.60	0.356	0.34	0.121
TOTAL	32.60	1.000		0.417

Energía auxiliar anual = 3682 GD x 169.47 w^oK x 0.583 x 0.024 = 8731 Kwh/año

Tubos de gas de 45Kg necesarios : 14.90

M3 de gas necesarios : 807

Ahorro energético = tubos de gas x F.A.S. = 14.90 x 0.417 = 6.21 tubos/año = \$ 248.40.-/año

En todas las variantes de tipologías analizadas se observa un muy alto porcentaje de pérdidas por infiltración, lo que resulta muy difícil de mejorar ya que no pueden modificarse las variables usadas en el cálculo o reducir la renovación de aire por debajo de niveles necesarias para asegurar condiciones de habitabilidad.

COMPARACION DE AMBAS TIPOLOGIAS (A y B)

Tabla 5. Planilla comparativa de ambas tipologías

	Perímetro recortado (A)	Compacta (B)
G (w/m ³ °C)	0.86	0.76
C.C.C. (w/m ² °C)	4.27	5.19
F.A.S. (%)	47.60	41.70
Energía Auxiliar (tubos)	16.62	14.90
Ahorro energético (tubos/año)	7.91	6.21
Ahorro económico (\$/año)	316.40.-	248.40.-

Tabla 6. Balance de costo económico

	COSTO (\$/m ²)	AREA (m ²)		COSTO TIPOLOGIA A (\$)	COSTO TIPOLOGIA B (\$)
		A	B		
VENTANAS 2 VIDRIOS Y POSTIGO	600.-	3.90	4.38	2340.-	2628.-
VENTANAS 1 VIDRIO Y POSTIGO	500.-	6.90	13.10	3450.-	6550.-
VENT. 2 VIDRIOS Y CORTINA INT.	400.-	42.30	21.00	16920.-	8400.-
MUROS EXTERIORES	420.-	138.40	128.52	58128.-	53978.-
CUBIERTA TIPOLOGIA B	480.-		66.40		31872.-
ENTREPISO TIPOLOGIA B	120.-		59.00		7080.-
CUBIERTA TIPOLOGIA A	350.-	130.00		45500.-	
PISO AISLADO	180.-	113.00	37.00	20340.-	6660.-
PISO SIN AISLACION	140.-		33.00		4620.-
TAB. INT. / INST. INT.				8000.-	8000.-
ESCALERA					3000.-
TOTAL		151	129	154678.-	132778.-
COSTO TOTAL POR M2				1024.-	1029.-

(Los costos por m² son estimativos)

FORMAS DE USO DE LOS ESPACIOS EXTERIORES E INTERIORES

La tipología de perímetro recortado posee un espacio exterior soleado y protegido de los vientos, actuando como expansión de la casa, con el invernadero como fuelle entre el exterior y el interior. La tipología compacta carece de espacios exteriores protegidos. En cuanto al esquema interior, posee dos plantas vinculadas por una escalera en la antecámara, actuando ésta como fuelle funcional y térmico. A su vez, se podría considerar a dicha escalera como una barrera para cierta franja de usuarios. Esta es una solución típica de climas fríos por el fuelle térmico que genera. Además, la incorporación de la escalera en dicho espacio potencia el fuelle evitando la estratificación de calor de la casa a través de la misma. La concepción de dobles alturas o tan solo la escalera como integradora espacial de las plantas - tan común en nuestra cultura espacial- no resulta conveniente en un clima frío donde la estratificación es muy crítica.

ORIENTACION Y VISTAS

La implantación en Puerto Manzano implica la disyuntiva de jerarquizar o no las vistas al lago Nahuel Huapi con orientación sur, evidentemente opuestas a la captación solar deseable. La solución en ambos casos es incorporar ventanas al sur de tamaño reducido, con doble vidrio y protección nocturna de postigos con un $k=2.03$ w/m² °C. Con esto, además de conseguir vistas, se mejora la iluminación natural, haciéndola más uniforme, ya que ambos paramentos reciben luz. Asimismo debo decir que habrá mayor riesgo de enfriamiento por ventilación cruzada o mayor volumen de aire renovado por hora, lo que podría controlarse con carpinterías de buena calidad en sus contactos, burletes y un adecuado uso de las mismas.

PROBLEMÁTICA DE LA ESTRATIFICACION DEL CALOR

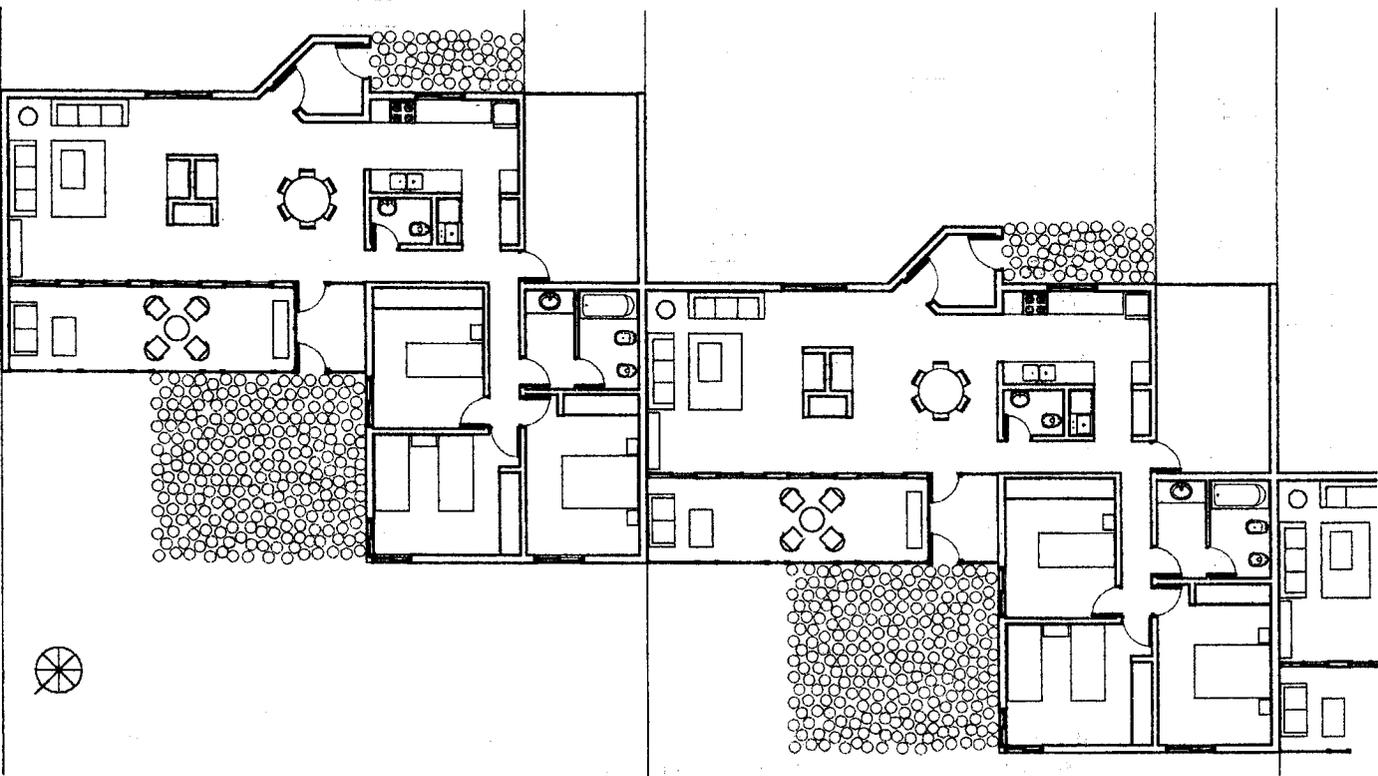
Salvado el tema de la estratificación de la escalera, quisiera dirigirme ahora a la solución para un dormitorio al sur en la versión "casa compacta". La solución de lucarna continua se descartó porque genera demasiadas pérdidas y resulta un recurso innecesario la inclusión dentro del pasillo. Esto puede ser fácilmente resuelto con una ventana lateral. La solución mixta también se descartó por su complejidad constructiva y sobrecosto, además de la estratificación del calor, con la desventaja de incorporar más volumen de aire a calefaccionar. En la alternativa adoptada (ver corte) hay menos volumen a calefaccionar, menos estratificación, es más económico y simple en lo constructivo. Como desventaja se puede mencionar el vidrio oblicuo o lucarna más expuesto a la lluvia y a la nieve.

CONCLUSIONES

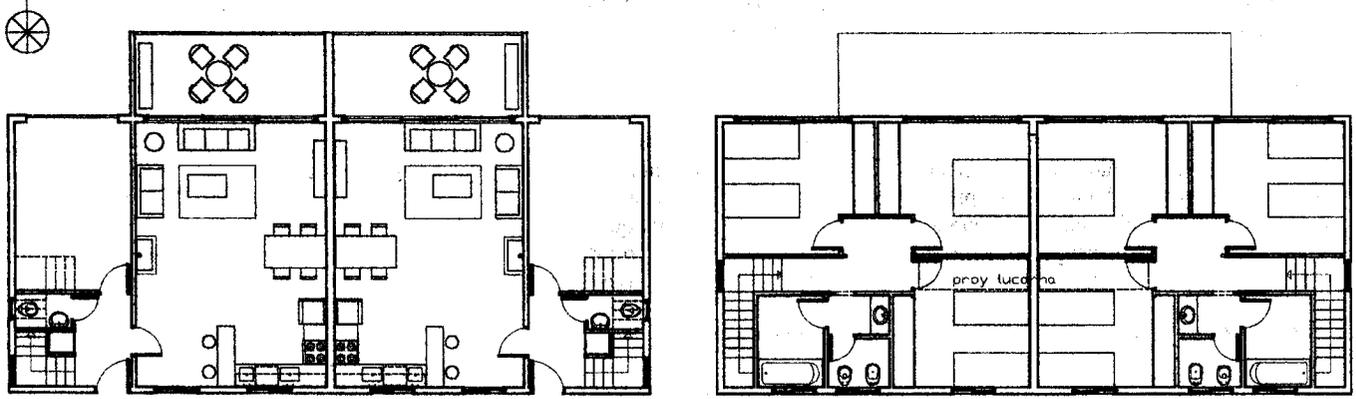
La comparación y evaluación expuestas fueron hechas con posterioridad al diseño arquitectónico de seis viviendas en Villa La Angostura, donde se optó por la versión de perímetro recortado. La tipología compacta fue desarrollada a fin de comparar ambas y evaluar su comportamiento térmico. Si bien "lo térmico" es el centro de esta presentación, no sólo fue entendido en el sentido de los parámetros medibles aquí expuestos sino ampliado a otras variables que se pueden llamar Diseño Bioambiental: la agrupación edilicia, la orientación y captación solar favorable, el diseño de espacios exteriores protegidos de los fuertes vientos del oeste y soleados a la vez, la necesidad de vistas al lago Nahuel Huapi, la distribución y calidad de luz natural, etc.

En resumen, a iguales costos por m², si bien la vivienda de tipología de perímetro recortado posee un G más desfavorable que la compacta, es mejor en cuanto a F.A.S. y C.C.C., así como también en cuanto a su calidad ambiental, incorporando, sobre todo, la importancia de la oferta de un espacio exterior calificado.

TIPOLOGIA DE PERIMETRO RECORTADO PLANTA UNICA



TIPOLOGIA COMPACTA PLANTA BAJA Y PLANTA ALTA



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue elaborado sobre la base de la Monografía presentada en el Curso de Posgrado Programa de Actualización en Diseño Bioambiental 1997, de la Escuela de Posgrado de la FADU, UBA.

REFERENCIAS

Norma I.R.A.M. 11.601 (1995) Acondicionamiento Térmico de Edificios, Métodos de Cálculo, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
 Fabris A y Yarke E (1985) Tablas del Cociente Carga Colector para 60 localidades de la Argentina, Instituto Solar Arquitectura Buenos Aires, Buenos Aires.
 Norma I.R.A.M, 11.604 (1998), Acondicionamiento Térmico de Edificios, Ahorro de Energía en Calefacción, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
 Evans J.M. y de Schiller S. (1994) *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*, 3ra. Edición, Ediciones Previas, Buenos Aires.

LA PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA EN EL NOA. UN ANÁLISIS GEOGRÁFICO

Reboratti, Laura; Pelicano, Graciela; Benedetti, Alejandro; Combetto, Argelia; de la Cuétara, Osvaldo.

Grupo de Geografía de la Energía

Instituto de Geografía - Facultad de Filosofía y Letras

Universidad de Buenos Aires

Puán 480 (1406) Capital Federal - Fax: 432-0121 - E-mail: gge@filo.uba.ar

RESUMEN

Para el análisis geográfico de la problemática energética, se ha utilizado un Sistema de Información Geográfica que permite el análisis interactivo de variables asociadas. En este caso se hace un análisis a partir de dos variables: el indicador de necesidades básicas insatisfechas (del ámbito rural) y la densidad de población rural dispersa distribuida en áreas de uso de suelo. De este modo se detectaron dos grandes áreas de carencia energética: la Puna y el Chaco Salto-Santiagueño. Sin embargo al interior de las mismas se presentan situaciones diversas, las que merecen análisis a sucesivas escalas de aproximación. Este tipo de análisis macro sólo permite elaborar conclusiones muy generales. Para la definición de políticas de aplicación concreta de proyectos deberían considerarse las situaciones microrregionales e incluso locales.

Introducción

El Proyecto de Investigación UBACYT FI030, denominado "Energías no convencionales en el NOA. Áreas prioritarias de aplicación" tuvo por objeto realizar una regionalización de la problemática energética en las seis provincias del noroeste argentino. De esta forma se analizaron cartográficamente diferentes variables que dan cuenta de dicha problemática, pudiendo registrar la diversidad de la realidad energética de la región. Uno de los principales resultados fue la determinación de las áreas con mayores prioridades para la aplicación de soluciones tecnológicas alternativas, debido a su exclusión con respecto al servicio eléctrico convencional, que se denominaron "áreas homogéneas de carencia energética". Se considera que existe carencia energética cuando no hay acceso a un sistema de redes de provisión de energía eléctrica así como cuando existe servicio de horario reducido proporcionado por sistemas de abastecimiento puntual.

Esta regionalización fue realizada tomando diferentes indicadores tales como NBI rural, NBI total, densidad de población rural, usos del suelo por tipo de actividad, indicadores de pobreza, etc. Todos estos indicadores permitieron establecer las principales características socioeconómicas de la población en las distintas áreas que quedan fuera de la zona de cobertura eléctrica actual y de mediano plazo, a la que denominamos "mancha eléctrica" (Mapa 1).

En esta ponencia se realizarán algunas consideraciones teóricas generales para dar cuenta de las razones que pudieron determinar la configuración de la actual distribución del servicio eléctrico por redes en la región. En segundo lugar se realiza, en el conjunto de las provincias mencionadas, un análisis geográfico a partir de dos variables (NBI rural y densidad de población rural) para establecer algunas características generales de las áreas identificadas. De esta forma se ponen en vinculación las situaciones de carencia de energía eléctrica con las características socioeconómicas de la población que se encuentra fuera del área de cobertura del Sistema Interconectado Nacional.

Configuración de las redes eléctricas

El patrón de distribución de la energía eléctrica está definido en buena medida por la configuración de la red técnica, entendida como aquellas redes físicas que soportan la circulación material de la energía eléctrica. La configuración de las redes técnicas no responde a un modelo genérico universal, sino a un proceso específico, históricamente datable. El trazado de estas redes ha sido planificado siguiendo un patrón por el cual se constituyen en un elemento central en la organización

del territorio, beneficiando a determinados agentes productivos y no a otros. Dicho de otra forma, la exclusión de algunas áreas del servicio eléctrico convencional puede obedecer a razones de orden económico, político o cultural que a lo largo del tiempo han ido modificando el valor de un determinado lugar, dejándolo al margen de la red de lugares a los que se vinculaba.

La expansión de las redes eléctricas ha respondido históricamente a la demanda solvente. En qué medida el desarrollo económico de ciertas áreas requirió la expansión de la red eléctrica, y ésta a su vez alentó su desarrollo no es fácil de determinar. Pero por ejemplo para el caso de las provincias de Jujuy y Salta las áreas donde se localizan las principales actividades productivas son aquellas que poseen la mayor densidad de red eléctrica, concretamente, la zona del valle del Río San Francisco.

La definición de una red técnica es una práctica espacial que genera geografías de inclusión y exclusión. En el caso de las provincias del noroeste, la poblaciones campesinas y aborígenes han sido las que históricamente han quedado en las áreas carentes de energía eléctrica. Por esta razón, se le confirió a este sector de la sociedad argentina una capacidad de desarrollo socioeconómico limitado.

Este estudio implicó una aproximación desde las estadísticas oficiales, las cuales son agregadas por unidades departamentales. De esta forma, se logró establecer una regionalización utilizando esta información a través de una herramienta que nos permite el análisis interactivo de variables de diversa índole, como son los Sistemas de Información Geográfica.

No obstante, el estudio de la situación de carencia energética requiere de aproximaciones sucesivas a la realidad, por lo tanto se deben realizar en diversas escalas. Dado que existe una tendencia a la homogeneidad de los fenómenos observados a pequeña escala así como a una heterogeneidad de los fenómenos a gran escala, debemos considerar las escalas como estrategias de aprehensión de la realidad, que van definiendo los fenómenos que dan sentido a los recortes espaciales (Elias de Castro, 1995). En relación a lo anterior, se puede afirmar que una primera aproximación (a escala regional) permite una orientación general para la definición de políticas a nivel macro. Se deben considerar otras escalas según las acciones a realizar. La aplicación concreta de las políticas a nivel local no puede desconocer los factores sociohistóricos, culturales, étnicos y hasta religiosos que se hacen visibles en ese nivel de análisis.

Resultados del análisis

En la cartografía digital se han representado los valores de densidad de población rural dispersa elaborados a partir del Censo Nacional de Población y Vivienda 1991. (INDEC, 1991). Las unidades de agregación de la información responden a la zonificación efectuada por el INTA (Mapa del suelo del INTA), en relación al uso actual del suelo para actividades agropecuarias. En rasgos generales, este organismo realiza una distinción en: áreas de agricultura de secano, agricultura bajo riego, ganadería según grado de intensividad. Estas categorías fueron utilizadas con el propósito de limitar áreas con distinta densidad de población en función de los jornales por tipo de actividad.

En un segundo mapa están representados los porcentajes de población rural en situación de necesidades básicas insatisfechas (NBI), información que se encuentra agregada por departamentos. Esta información proviene de un trabajo elaborado por el CFI en base a datos del Censo (CFI, 1997). En los dos casos se ha superpuesto la "mancha eléctrica" definida a partir de las redes de distribución de hasta 7,2 kV.

Debido a problemas de compatibilidad de la información de base obtenida para la provincia de Tucumán ha quedado excluida del análisis.

Tomando en primer lugar los valores de densidad de población rural dispersa, se pudo constatar que:

1- las más altas densidades, que van de 5 hab. por km² en adelante, se registran en las áreas cercanas a la "mancha eléctrica". En estas áreas en general se localizan las actividades de mayor desarrollo productivo relativo, las cuales en muchos casos están en un proceso de avance de la frontera agropecuaria, lo que explicaría la presencia de mano de obra rural permanente en mayores proporciones.

2- Las densidades intermedias que van de 0.75 a 5 hab. por km² se registran en zonas adyacentes a las anteriores.

3- Las densidades más bajas, que ocupan el porcentaje más elevado del territorio regional, se distribuyen en dos sectores bien diferenciados.

- la región Puna, que incluye sectores de las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca; y el oeste cordillerano de la provincia de La Rioja. En este conjunto se registran los valores más bajos que van de 0 a 0.3 hab por km².

- la región del Chaco salteño y el Centro-este Santiagueño, con valores levemente superiores, que van de 0.3 a 0.7 hab. por km².

De esta forma se puede llegar a una primera conclusión de que las áreas con cobertura eléctrica registran los valores más altos de densidad de población rural, y que va disminuyendo a medida que nos alejamos de las redes de distribución de electricidad.

A partir del análisis de los datos de NBI, se puede observar que:

1- Los mayores porcentajes de población rural con NBI, que van de un 65% a 75% se localizan en las zonas con valores de densidades de población intermedias, próximas a las áreas de cobertura eléctrica con un uso más intensivo del suelo, y que por lo tanto atraen mano de obra rural.

2- El caso extremo se registra en el Este de la provincia de Salta (Chaco salteño), con valores que van de 75 a 85 % de la población con NBI, en coincidencia con una zona que registra una baja densidad de población (0.3 - 0.7) pero donde se localiza la mayor cantidad de población aborigen, con características de modo de vida nómada por su economía de cazadores-recolectores a diferencia de las economías agropastoriles de la Puna.

3- En general los valores de NBI descienden en concordancia con las densidades encontrando que en zonas con densidades inferiores a 0.7 el NBI no supera el 65 %.

Conclusiones

Del análisis de la información se puede afirmar que existen dos grandes áreas homogéneas de carencia energética: la Puna y el Chaco. No obstante, al interior de estas regiones se han registrado distintas situaciones a partir del análisis de otros indicadores, que estarían dando cuenta de características socioeconómicas variables.

Los valores de NBI rural indican que son las áreas adyacentes a la mancha eléctrica las que presentan los mayores índices, en coincidencia con valores de densidad intermedios. Esta población no será incorporada en el mediano o largo plazo a los proyectos de extensión del servicio por red. Si bien las áreas más alejadas, dados los valores de NBI más bajos y en donde también se registra menor densidad de población, no representarían en principio áreas prioritarias, al profundizar el análisis tanto considerando nuevas variables, como modificando la escala, mostrarán otras situaciones que sí lo ameriten.

La energización de estas áreas rurales excluidas del sistema nacional sería posible mediante la utilización de tecnologías de energía renovable que permiten la producción de electricidad con el aprovechamiento de recursos energéticos renovables y locales, como la radiación solar, el viento y el agua en movimiento, utilizando equipos de generación solar, eólica o hidráulica in situ y distribución mediante pequeñas redes técnicas de alcance local. La forma de encarar las políticas que permitan la energización, debería ir más allá de la consideración de variables estadísticas macroregionales, procurando considerar las singularidades que cada caso presenta.

Como se sugiere más arriba, determinadas escalas homogeneizan la información, ocultando las particularidades que se puedan dar en los distintos casos a nivel local. Para una correcta caracterización se requieren aproximaciones sucesivas a la realidad. Es así como se encontrarán diferenciaciones al interior de las áreas que pueden estar determinadas por redes, densidad de población aglomerada, tipo de uso de suelo, etc.

Bibliografía

INDEC (1994) Censo Nacional de Población y Vivienda, Buenos Aires

CFI (1997) Indicadores demográficos, sociales y de infraestructura básica por departamento, Buenos Aires.

Lobato Corrêa, R. "Espaço: um conceito-chave da Geografia. En: Geografia: Conceitos e Temas. Elias de Castro, I., da Costa Gomes, P.C. y Lobato Corrêa, R. (Organizadores). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

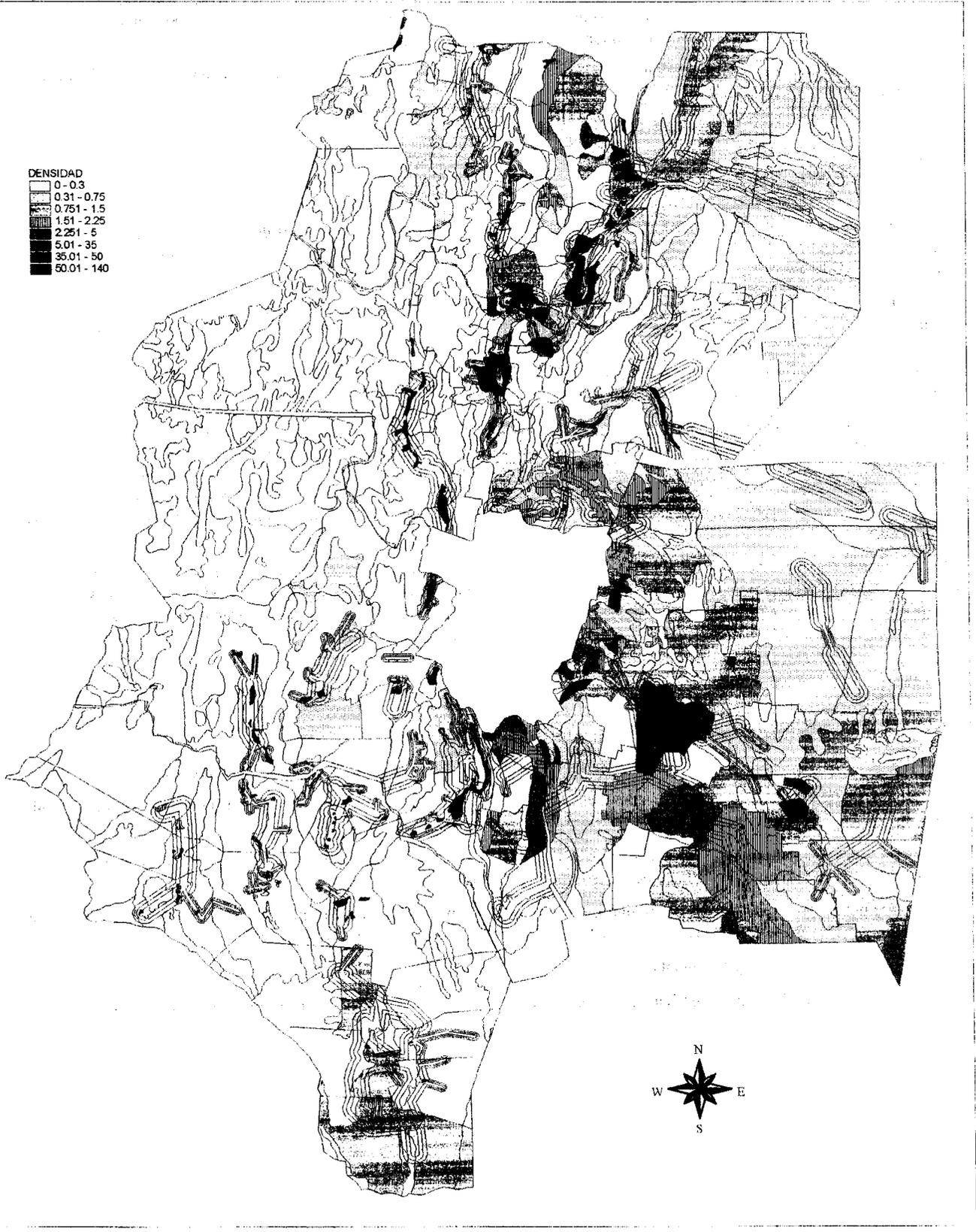
Elias de Castro, Iná. "O problema da escala". En Geografia: Conceitos e Temas. Elias de Castro, I., da Costa Gomes, P.C. y Lobato Corrêa, R. (Organizadores). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

da Costa Gomes, P.C. "O conceito de região e sua discussão". En: Geografia: Conceitos e Temas. Elias de Castro, I., da Costa Gomes, P.C. y Lobato Corrêa, R. (Organizadores). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

INTA, Atlas de Uso Actual y Potencial del Suelo, Buenos Aires, 1986.

Yanes, L. et al. "La difusión geográfica de las fuentes de energía no convencionales". Instituto de Geografía, UBA. Buenos Aires, 1988.

Densidad de Poblacion Rural Dispersa Por Categoria de Uso de Suelo



EL SISTEMA DE REDES DE SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA URBANO-REGIONAL Y SU RELACIÓN CON LA EFICIENCIA Y CALIDAD AMBIENTAL

E. Rosenfeld ¹, P. Pirez ¹, C. Discoli ¹, J. Karol ², G. San Juan ¹,
J. Czajkowski ¹, H. Olivera ³

Instituto de Estudios del Hábitat, IDEHAB, U.I. N° 2, FAU, UNLP.
Calle 47 N° 162. CC 478 (1900) La Plata.
Tel-fax: 021-214705. E-mail: erosenfe@isis.unlp.edu.ar

RESUMEN

El trabajo analiza las relaciones entre el complejo de mallas de redes de infraestructura y servicios urbanos y regionales (RUR), el sistema político institucional (SPI), el desarrollo urbano y la innovación tecnológica, con el objeto de entender los cambios de *eficiencia y calidad ambiental*, que se producen actualmente en el hábitat. Asimismo se considera la construcción de indicadores, que posibilitan una evaluación integral de las redes y sistemas. Se utilizan técnicas y métodos que permiten la adquisición y análisis de la información para el diagnóstico.

INTRODUCCIÓN

En el último cuarto de siglo, las múltiples transformaciones políticas, económicas, sociales y tecnológicas, han inducido a los estados nacionales a reformular sus políticas y sus formas de gestión, con el fin de adaptarse al "nuevo orden mundial". Se está configurando una "nueva era" ¹: con el impulso del desarrollo y concentración del capitalismo industrial y terciario, la mundialización de los procesos y el avance de la CyT como base de la innovación-competitividad. Como uno de los resultados se conforma una nueva relación entre el Estado y la sociedad que ha puesto en cuestión, y en muchos casos en crisis, al Estado protector.

En América Latina el proceso de reestructuración se está realizando por medio de la utilización de tres herramientas: desregulación, privatización y descentralización. Además de un conjunto de políticas de "ajuste" para, principalmente, eliminar la inflación, atender las deudas y lograr superávit. En este contexto la privatización de los servicios urbanos parece ser una de las innovaciones institucionales y técnicas más significativa, a partir de la que se intenta generar un nuevo paradigma: la privatización como sinónimo de eficiencia ².

En Argentina, nuevos actores y nuevas relaciones definen el escenario presente: servicios urbanos y regionales prestados alternativamente por el sector público o privado, en espacios colindantes de un mismo territorio. Servicios básicos que por definición son públicos a cargo de prestadores privados, cambio de rol del Estado, aumento de la demanda social sobre los gobiernos locales, mayor protagonismo del capital privado en la construcción de la ciudad, escasa regulación acerca de las competencias de los actores involucrados, son algunos de los múltiples aspectos que caracterizan la problemática presente. Esto en un contexto de auge macro-económico, aumento de la pobreza y de las diferencias entre los sectores, terciarización, precarización de la seguridad social y del empleo y desocupación.

El complejo de mallas de redes de servicios e infraestructura urbana y regional (RUR), parecieran definir una nueva trama en las ciudades -en especial las- metropolitanas. Y es en el RUR, donde se reflejan con bastante claridad, los actores y las nuevas relaciones antes descriptas.

Hoy es, además, imposible abordar el análisis de los servicios urbanos-regionales sin asociarlo al de las redes. Nos referimos a la noción de red en el sentido que la define G. Dupuy ³ "la red como concepto y no como objeto emerge de la historia reciente y se refiere a una nueva organización del espacio. Ella traduce bien cierto tipo de relaciones, espacio/ tiempo/ territorio, características de las sociedades modernas".

Nuestro objeto de estudio es la resultante del desarrollo urbano provocado por las innovaciones tecnológicas, incorporadas a las redes de infraestructura y los servicios urbanos. El RUR funciona como motor del crecimiento urbano en ausencia del urbanismo y el desarrollo planificado. La Región Metropolitana de Buenos Aires es un caso ejemplar de ello y de la forma en que la sociedad resuelve la ausencia o el desfase entre la acción del Estado y las necesidades de ocupación del territorio. En varios momentos, el crecimiento urbano superó ampliamente al de las redes y servicios y el sector privado o asociado, sustituyó la falta de intervención del sector público creando nuevos servicios, la mayoría de los cuales se incorporan

¹ Investigador CONICET; ² Investigador FADU-UBA; ³ Técnico FAU.

progresivamente al sistema formal.

OBJETIVOS Y ASPECTOS METODOLOGICOS

El proyecto que sustenta este trabajo tiene como *objetivo general* avanzar en el estudio de la articulación entre el territorio, el sistema de redes de infraestructura y servicios urbano-regionales (RUR) y el sistema político-institucional (SPI); y por *objetivos particulares*:

- a. Estudiar la eficiencia de la energía -en sus aspectos físicos y sociales- y la calidad ambiental consecuenta a nivel local y regional.
- b. Identificar las modalidades de políticas y gestión del RUR.
- c. Estudiar las posibles tipologías de conformación de tramas y calidades de RUR.
- d. Elaborar indicadores de funcionamiento que posibiliten medir en términos de eficiencia, eficacia, calidad y equidad el RUR.

El trabajo se localiza en el área del Gran La Plata, lindante a la zona sur de área Metropolitana de Buenos Aires. Consideramos como unidad de análisis territorial, el casco urbano de La Plata y los asentamientos menores que se localizan en el eje hacia Buenos Aires, constituyendo un continuo urbano solo interrumpido por el Parque Pereyra Iraola .

El objeto de estudio, es la articulación entre el *territorio*, observado desde el punto de vista material y social; *el soporte* (oferta y demanda) de las redes de servicios e infraestructura y la *gestión*, observada desde las contradicciones entre el sistema político-institucional (gobierno y actores decisores), la oferta de satisfactores y las necesidades de funcionamiento de la vida urbana.

Las hipótesis de trabajo son las siguientes:

1. Que el medio urbano en nuestro país se desarrolla y crece como producto de acciones no necesariamente coordinadas entre el SPI, las necesidades de la población y de las actividades económicas y el RUR;
2. Cada una de las redes de infraestructura y servicios se transforma cualitativa y cuantitativamente en función de lógicas sectoriales, técnicas y de gestión;
3. La demanda de RUR genera satisfactores formales e informales, operando estos últimos como servicios de sustitución motorizados por la creatividad del mercado;
4. Las innovaciones tecnológicas (técnicas, organizacionales y gestionarias) del RUR son un componente esencial de la calidad de la vida urbana y regional en esta etapa del desarrollo socio-económico;
5. Buena parte de las desarticulaciones del objeto de estudio se deben a la carencia de un nivel de coordinación de la gestión del sistema.

La **primer fase**, de carácter exploratoria, ha posibilitado la definición, descripción del objeto de estudio, ya que la mayor parte de los desarrollos anteriores, se centraron en el nivel sectorial. La **segunda fase** enfoca lo territorial, analizando tres áreas de las que se cuenta con una aceptable base de información. Se suman estudios cualitativos del SPI y cuali-cuantitativos geo-referenciados del soporte técnico y de la demanda. La tres áreas son: alta, media y baja consolidación urbana. En las mismas se superponen las redes involucradas, definiendo y formulando las variables e indicadores. La **tercer fase** involucra las innovaciones tecnológicas (técnicas, organizacionales y de gestión) que definen la calidad de cada red y su relación con el conjunto del sistema. El soporte técnico del RUR privilegiará el estudio de las redes de transporte-vial; educación; salud; energía, agua, cloacas, información y comunicación.

Se están utilizando diferentes métodos y técnicas: *análisis histórico de los estándares tecnológicos* de cada servicio en base a dos escenarios definidos como antes y después del proceso de privatización ; *encuestas* de opinión sobre la calidad del conjunto del sistema; *definición de indicadores y construcción de índices* estándar y de eficiencia; formulación de posibles tipologías del sistema de redes en cada área y una primera aproximación de clasificación tipológica utilizando *información geo-referenciada* y técnicas "cluster". La utilización de técnicas GIS (Sistemas Información Geográfica), permite operar con mapeo, interrelacionando matrices geográficas y cuantitativas, por ejemplo: ocupación histórica territorial, relación oferta-demanda, el desarrollo urbano y la gestión local, uso territorial de los recursos.

En base a los resultados del análisis tipológico y de los estudios profundizados, se formularán indicadores globales de eficiencia, eficacia, calidad ambiental y de funcionamiento del RUR.

ALGUNOS RESULTADOS

Los resultados emergentes en esta primera etapa tienen que ver, como ya dijimos con la exploración del objeto de estudio; un primer diagnóstico de situación acerca de las redes involucradas y la implementación piloto de una encuesta de opinión y percepción por parte de los usuarios; la comparación con la situación de una década atrás (Proyecto AUDIBAIRES/1987) y la construcción paulatina del soporte técnico con información georeferenciada.

1. Resultados referidos a la exploración del objeto de estudio. Desarrollamos la categoría *sistema político-institucional* (SPI) en relación con el complejo de *redes de servicios urbano-regionales* (RUR). El primero será entendido como un sistema predominantemente técnico-territorial que resulta de decisiones político-técnicas que, a su vez, se basan en la existencia de relaciones entre actores institucionales, actores políticos y actores sociales. De allí que la configuración del RUR sea el

resultado de la interacción entre el aparato técnico (redes y servicios) en un territorio socio-económicamente significativo y un particular sistema político institucional. Ese sistema está integrado por tres sectores fundamentales: i. estatal: federal, provincial, municipal; ii. empresas privadas de servicios urbanos y iii. usuarios y además por un cuerpo normativo de regulación, ver figura 1. El SPI permite observar a los servicios como sistemas sociales de toma de decisiones en cada una de sus fases y dentro de las relaciones que establecen sus actores.

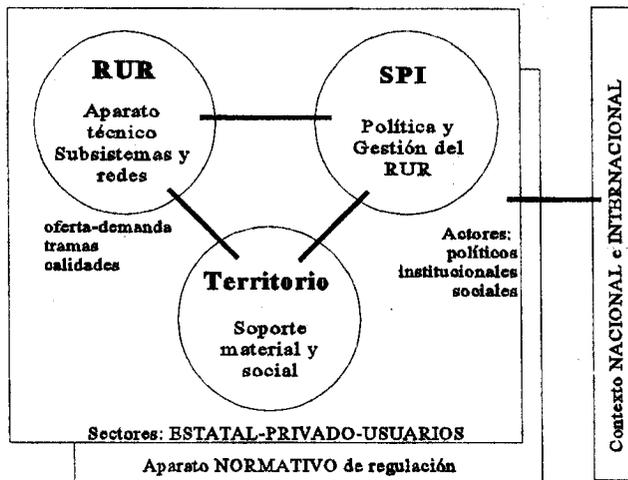


Figura 1. Sistema planteado como objeto de estudio.

2. **Primer diagnóstico de las redes involucradas.** Como consecuencia de las leyes nacionales de "Emergencia Económica" y de "Reforma del Estado", la región vive un doble proceso: descentralización administrativa y privatización de sus servicios urbanos. Se convierte así en un excelente punto de observación del nuevo entramado metropolitano, donde es posible analizar simultáneamente situaciones de distinta naturaleza en la efectiva prestación del servicio, el papel de los actores y los impactos territoriales.

Los servicios permitían al *Estado benefactor subdesarrollado*, (que adoptó el modelo racional-weberiano de los países avanzados, pero sin la organización ni capacidad de control para gestionar la regulación de manera eficiente), subsidiar a determinados sectores sociales, no necesariamente los de menores recursos. En consecuencia la privatización implica el final de una complicada trama de subsidios cruzados.

Además, esa forma de organización del Estado generó, en nuestro país, dos consecuencias indeseables: a. servicio deficitario: técnico, económico y de cobertura. Una situación casi generalizada y creciente; y b. decadencia tecnológica, técnica y organizacional en continuo aumento. Esta crisis económica y de calidad, entró en un periodo de "riesgo de colapso" de sistemas y redes, cuando se le sumaron la Crisis de la Deuda y el deterioro agudo del servicio, que conformó el escenario previo a las privatizaciones.

En el estado actual parecieran predominar los siguientes rasgos: i. Las privatizaciones que en algunos precedieron a los entes de regulación, predominan sobre ellos por su mayor poder de gestión e influencia; ii. La introducción generalizada de los mecanismos de mercado ha redundado en la preservación prioritaria de la rentabilidad; iii. La segmentación de buena parte de las cadenas productivas, dificulta las tareas de producción de información y planificación; iv. Una calidad dispar de los servicios, con sectores modernizados y otros que permanecen en decadencia; v. Un mejor control por las empresas privadas de los usuarios en situación ilegal y vi. La indefensión de los pequeños consumidores -cautivos- ante una situación normativa y de hecho hegemónica por el poder de las empresas.

3. **La encuesta** incluye y articula datos para dos proyectos PIP-CONICET "REDES" ⁴ y "URE-AM" ⁵. Los capítulos son: a) Identificación; b) Localización; c) Características de la vivienda; d) Datos de los componentes del hogar; e) Factor de ocupación de la vivienda; f) Equipamiento del hogar: calefacción; g) Equipamiento del hogar: refrescamiento; h) Equipamiento de producción de agua caliente; i) Equipamiento de lavado de ropa; j) Equipamiento de cocción; k) Equipamiento de producción de frío; l) Electrodomésticos y otros equipamientos; m) Consumo anual de combustible; n) Hábitos de cocción; o) Hábitos de uso del agua caliente; p) Hábitos de uso de electricidad: iluminación; q) Opinión sobre la luminosidad de la vivienda; r) Opinión sobre el comportamiento de la vivienda en invierno; s) Opinión del comportamiento de la vivienda en verano; t) Movilidad del grupo familiar; u) Percepción de la situación del medio ambiente; v) Equipamiento social del barrio; w) Acceso, percepción / evaluación y sustitución de servicios urbanos; x) Percepción de la innovación tecnológica de redes de servicios infraestructurales domiciliarios; y) Características constructivas de la vivienda. Los ítems U, W, X, se refieren a la opinión y percepción de los usuarios sobre las características de las redes involucradas, antes de las privatizaciones y en la situación actual.

4. **Análisis georeferenciado.** Se realiza como un sistema complejo, desagregando sus elementos constitutivos, en subsistemas (⁶), algunos de los cuales pueden calificarse de redes y servicios de infraestructura. Ellos caracterizan el RUR desde su oferta y su demanda de dichas redes en el soporte territorial a las áreas en estudio.

Subsistema Salud: Constituye una red (subsectores público y privado) que abarca centros de alta, media y baja complejidad sanitaria, en los distintos niveles jurisdiccionales y que resuelven la atención integrada en una región. Se contemplan las siguientes variables: Identificación y localización; tipo de establecimiento (hospitales, clínicas, sanatorios, unidades sanitarias, centros mutualistas, medicina prepaga, entidades intermedias, otros); complejidad; zona de influencia; forma de atención.

Subsistema Educación: Comprende una red (público-privada) con una estructura nodal numéricamente importante y de funcionamiento complejo. Brinda a la población no sólo acciones de educación, sino también de alimentación y asistencia

social. Se trabaja sobre las siguientes variables: Identificación y localización; nivel; rama (Inicial, EGB, Polimodal, Escuelas Especiales, Adultos, Artísticas, Universidades, Facultades, otros); orientación y servicios complementarios.

Subsistema Transporte: Actúa como una red circulatoria en el territorio, abarcando servicios; organización; gestión empresarial y control estatal. Se desagrega en: tipo, distancia, modo, gestión, recorridos, frecuencias.

Otras redes involucradas: Cultura (bibliotecas, instituciones culturales y deportivas); Información y comunicación (teléfono, TV/cable, radios); Seguridad (bomberos y policía); Comercio (más de 2.000m² cubiertos); Espacios verdes. Infraestructura: Estructura vial; Sistema de distribución eléctrica; Sistema de distribución de gas(envasado y por red); Sistema de Agua y saneamiento.

Características de la demanda: población; densidad población; ingresos (per cápita y promedio); movilidad escolar; cantidad de puestos trabajo; cant. viviendas; relaciones (hacinamiento, viviendas/agua, corriente/pozo absorbente/bombeador).

Características del soporte territorial: indicadores urbanísticos (uso del suelo, tipo de suelo, ordenanza de uso del suelo, Factor de ocupación de superficie-FOS-).



Figura 2. Zona de estudio. Mapeo general de las redes procesado en MapInfo.

En la figura 2 se presentan las tres zonas en estudio (A, B y C, alta, media y baja consolidación urbana) y un mapeo general de las redes, extraído del SIG.

Los principales resultados tienen que ver con:

- i. La construcción metodológica para abordar un problema complejo, debido a las múltiples relaciones de los sistemas y redes involucrados;
- ii. La conformación de un cuerpo teórico que posibilita el estudio de mallas de redes de infraestructura y servicios regionales, relacionándolas con el desarrollo urbano y la innovación tecnológica;
- iii. Y el desarrollo instrumental para adquirir y procesar la información.

REFERENCIAS

1. U.Mulduo y R.Petrella. (1994). *S y T policy*, FAST, EUR15150, Bruselas.
2. H.Coing. (1988). *Servicios urbanos. Velho ou novo tema?*. Espacios y debates, N°23, Brasil.
3. G.Dupuy. (1991). *L'Urbanisme des Réseaux, Théories et méthodes*. A. Colin, Paris.
4. Proyecto REDES. "Formulación teórico-metodológica para el análisis del sistema de redes de servicios e infra-estructura urbano-regional". PIP-CONICET. Director. P.Pirez, IDEHAB-FAU-UNLP.
5. Proyecto URE-AM. "Políticas de uso racional de la energía en áreas metropolitanas y sus efectos en la dimensión ambiental". PIP-CONICET. Director E.Rosenfeld, IDEHAB-FAU-UNLP.
6. G.San Juan, Y.Rosenfeld. *Un enfoque sistémico de la arquitectura educacional. Variables macro de la gestión urbano-regional, estudiadas como sistema complejo*. Inédito. Cap. 3. CONICET-IDEHAB-FAU. UNLP.

DINAMICA DE FERMENTACION EN LA PRODUCCION DE BIOGAS

R. A. Achilles* - B. Bucki Wasserman**

Universidad Tecnológica Nacional - Unidad Académica Confluencia

Juan M. De Rosas y J. Soufal - 8318 Plaza Huincul - Neuquén - Telefax 099-63292

e-mail: uinconf@uncu.net.com.ar - bucki@rionet.rionegro.com.ar

RESUMEN

El presente artículo deriva, a partir de parámetros físicos y reactivos que caracterizan el funcionamiento de un biodigestor anaeróbico, la función de transferencia del mismo en términos de tres variables: volumen líquido, temperatura del biodigestor y presión del biogas. La operación estable del mismo es verificada en términos de su error de estado estacionario, respuesta transitoria y respuesta en frecuencia.

INTRODUCCION

La disponibilidad natural de una serie de residuos biológicos -incluyendo maderas, residuos del procesamiento de éstas, pastos, residuos orgánicos de todo tipo- agrupados bajo al término *biomasa* ha dado lugar al uso intensivo de estos materiales como fuente de energía en su forma mas obvia, la combustión.

El argumento de mayor gravitación en pro de la utilización de bioenergía lo constituye el reciclado inherente del carbono por fotosíntesis siendo sus posibilidades de aplicación extendidas por la opción de conversión de aquellos materiales a combustibles líquidos y gaseosos[1].

La digestión anaeróbica de residuos animales y vegetales, para producción de biogas es utilizada extensivamente en países en vías de desarrollo -China aproximadamente 7000000 e India 800000 biodigestores- para la generación eléctrica en módulos reducidos (<10 MW) aplicados a sistemas de poblaciones rurales aisladas. En países desarrollados los módulos de mayor envergadura (<100 MW) son utilizados para balancear las emanaciones de CO₂ y SO₂ asociados a grandes plantas generadoras en base a combustibles fósiles, mitigando de esta manera su impacto sobre el efecto invernadero[2].

La opción potencial de aplicar esta tecnología al abastecimiento eléctrico de pobladores rurales dispersos (P.R.D.) sin factibilidad económica de conexión al Sistema Transcomahue, a través del Ente Provincial de Energía del Neuquén, dio lugar a estudios específicos en el ámbito de la Universidad Tecnológica Nacional, Unidad Académica Confluencia, Plaza Huincul, Neuquén. Los mismos incluyeron planes para la construcción de una Planta Piloto de Producción de Biogas para suministro a una escuela rural situada en la cordillera andino-patagónica.

En la etapa de preingeniería de la mencionada planta se definieron una serie de parámetros que permitieron la formulación básica del proceso químico propiamente dicho, así como las acciones de control asociadas incluyendo operación de bombas y válvulas originada en medidas de nivel, presión, temperatura, etc.

Dicha formulación se concretó en un modelo lineal para el que fueron definidas como variables de estado relevante, los volúmenes de sustrato, agua y lodos contenidos en el biodigestor, la temperatura de éste y la presión de gas. No se incorporaron la acidez que se consideró bajo control dentro de los límites de este análisis ni, en forma explícita, el volumen de gas ya que el presente modelo se formuló a válvula abierta con el reactor permanentemente conectado al gasógeno. La disposición de la instalación es exhibida en la Figura 1.

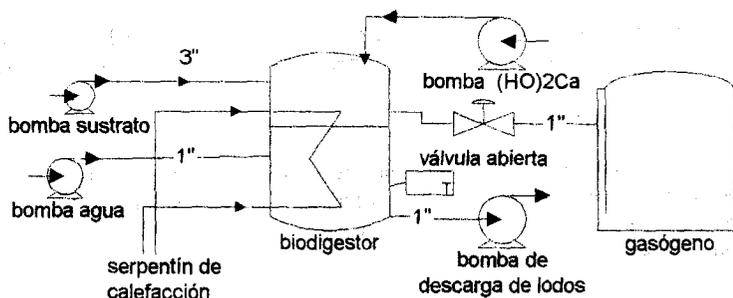


Figura 1. Disposición General Biodigestor

* Senior Member IEEE, Consultor, Docente Investigador U. T. N. - U. A. Confluencia

**Director Grupo de Estudios sobre Energía y Ambiente, Docente Investigador U. T. N. - U. A. Confluencia

METODOLOGIA

La proporción volumétrica de líquidos mantenida en el reactor a los efectos de preservar la concentración de sustrato $S = V_s / (V_s + V_w + V_d)$ adoptada del 20 % permite la definición de volúmenes parciales en la condición de equilibrio. Para un volumen de biodigestor estimado en 64 m^3 , con dos tercios del mismo (42.7 m^3) ocupados por el líquido y una proporción de lodos que no supere el 20 % de este volumen, los respectivos volúmenes de sustrato, agua y lodos serán: $V_s = 8.5 \text{ m}^3$, $V_w = 25.7 \text{ m}^3$ y $V_d = 8.5 \text{ m}^3$. Al volumen remanente de gas se agrega -a válvula abierta- el volumen del gasógeno estimado en 64 m^3 arrojando un volumen total de biogas $V_g = 85.3 \text{ m}^3$.

La concentración de sustrato en que se fundó la presente linealización se corresponde con una producción estabilizada de biogas en fase logarítmica, establecida luego de 55 días de duración de la fase de aceleración (multiplicación de colonias) a partir de la habilitación del reactor.

Un régimen reversible de interacción Enzima Sustrato \leftrightarrow Complejo (Enzima-Sustrato) que da lugar a la formación de Enzima + Producto en fase logarítmica es adecuadamente descrito por la ecuación de Michaelis -Menten[3]:

$$v = v_{max} S / K_m + S \quad (1)$$

en donde v representa la velocidad de reacción y K_m la constante de Michaelis-Menten equivalente al efecto conjunto de la transformación reversible (Enzima - Sustrato) - (Enzima + Producto) y la irreversible (Enzima - Sustrato) - (Enzima + Producto). Representada gráficamente en función de la concentración de sustrato S , la velocidad de reacción es la mitad de la máxima para $S = K_m$ y es asintótica con v_{max} para $S \rightarrow \infty$ tal como se muestra en la Figura 2.

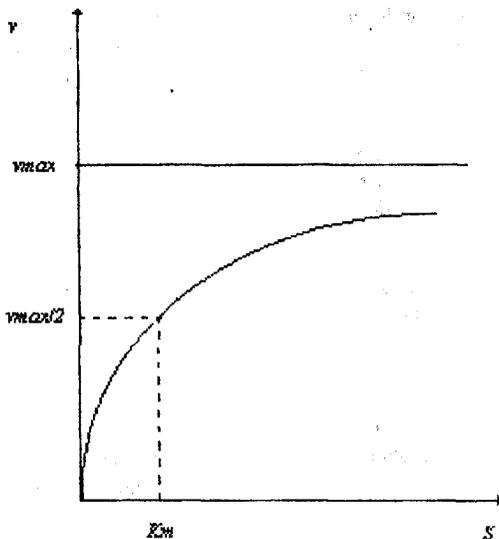


Figura 2. Ecuación de Michaelis - Menten

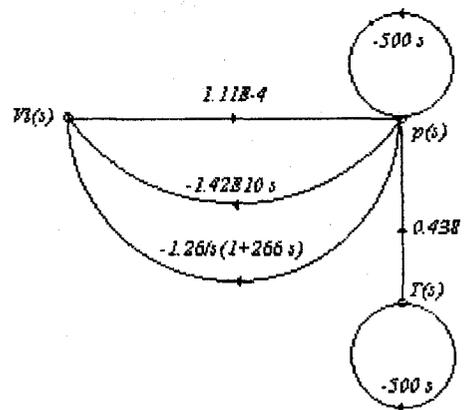


Figura 3. Diagrama de Flujo de Señal del Biodigestor

En el presente caso, con la concentración de sustrato adoptada del 20% y una constante de Michaelis-Menten de $400 \mu \text{ mol} / \text{l}$ para la enzima y sustrato de aplicación[3], la respectiva velocidad de reacción resulta, en función de la máxima:

$$v = \{0.2 / [400E-6 (\text{mol/l}) \times 22.4 (\text{l/mol}) + 0.2]\} v_{max} = 0.957 v_{max} \quad (2)$$

y el volumen de producto a que el volumen líquido indicado dará lugar para un contenido típico de sólidos del 8 % [4] considerándose -para el ganado ovino y caprino en el que se ha centrado el presente análisis- una proporción de sólidos volátiles en el rango el 70 % [5] y una constante de tiempo igual a un tercio de la duración del ciclo de crecimiento puede expresarse en términos de la transformada de Laplace como:

$$V_g(s) = \{0.70 \times 0.08 / [1 + (55 \times 86400/3) s]\} V_l(s) = [5.60E-2 / (1 + 1.58E6 s)] V_l(s) \quad (3)$$

volumen de biogas que introducido en el recinto combinado de biodigestor superior más gasógeno incrementará su presión y energía interna según la expresión incremental derivada de la ecuación de estado para un gas ideal [6]:

$$p \Delta V_g + V_g \Delta p = \Delta (nRT) = [RT / (22.4 \text{ l/mol } p \text{ atm})] p \Delta V_g \quad (4)$$

que, considerando la presión de recinto y temperatura de reactor adoptadas de, respectivamente, $180 \text{ g/cm}^2 = 17.6 \text{ kPa}$ y $35^\circ\text{C} = 308.2 \text{ }^\circ\text{K}$, da lugar a la relación en Laplace:

$$p(s) = [8.31E-3 \text{ kJ/mol } ^\circ\text{K} \times 308.2^\circ\text{K} / (2.24E-2 \text{ m}^3/\text{mol} \times 100 \text{ kPa}) - 1] (1.18 \text{ kPa}/85.3 \text{ m}^3) Vg(s) = 1.98E-3 Vg(s) \quad (5)$$

Resultando la relación entre volumen de líquido y presión de biogas:

$$p(s) = [(1.98E-3 \times 5.60E-2) / (1 + 1.58E6 s)] VI(s) = \{1.11E-4 / (1 + 1.11E-4 \times 1.42E10 s)\} VI(s) \quad (6)$$

Adicionalmente, el impacto de la variación de temperatura sobre la presión de gas puede establecerse sobre bases isovolumétricas a partir de la ecuación incremental de estado $Vg\Delta p = nR\Delta T$ como:

$$p(s) = [(118 \text{ kPa} \times 8.31E-3 \text{ kJ/mol } ^\circ\text{K}) / (100 \text{ kPa} \times 2.24E-2 \text{ m}^3/\text{mol})] T(s) = 0.438 T(s) \quad (7)$$

Estos dos parámetros, presión y temperatura, estarán además afectados por sendas constantes de tiempo asociadas a, respectivamente, la cañería de 1" de diámetro de interconexión entre biodigestor y gasógeno, y al serpentín de calentamiento del reactor por circulación de agua. Estimando para el primer caso un caudal máximo de gas de la cañería de 128 l/s, la constante de tiempo será de $63 \text{ m}^3 / 0.128 \text{ m}^3/\text{s} = 500 \text{ s}$. Con una constante de tiempo de calentamiento del reactor evaluada de la misma magnitud puede escribirse:

$$p(s) = [1 / (1 + 500 s)] p(s) \quad \text{y} \quad T(s) = [1 / (1 + 500 s)] T(s) \quad (8)$$

Por otra parte, el proceso fermentativo causará reducciones del nivel líquido por volatilización de partículas sólidas y por incremento de la presión de gas, e incrementos del mismo por acumulación de lodos. Estas variaciones de nivel, asimiladas en el presente trabajo a fluctuaciones de presión del biogas, ocasionarán la operación de las bombas de descarga de lodos y de carga de sustrato y agua. El rango de variación de presión adoptado para el arranque de bombas fue de $\pm 10 \text{ g/cm}^2 = \pm 0.981 \text{ kPa}$.

Mientras que la dinámica de descarga de lodos no fue representada en el presente análisis al considerarse que en la misma no son eliminados sólidos volátiles, la incorporación de éstos en el proceso de carga del sustrato fue debidamente incluida en el modelo. La respectiva ganancia y fluctuación fue establecida a partir de los correspondientes volúmenes líquidos y variación del nivel de referencia. En lo relativo a las constantes de tiempo, la constante de tiempo eléctrica del bobinado de la bomba de sustrato fue despreciada frente a la significativamente mayor constante de tiempo hidráulica asociada al bombeo el sustrato. Se estimó un caudal máximo de 32 l/s de sustrato en la respectiva cañería de 3" de diámetro con lo que su impacto sobre el volumen líquido queda expresado:

$$VI(s) = - [42.7 \text{ m}^3 / (34.2 \text{ m}^3 \times 0.981 \text{ kPa})] \{1/s [1 + (8.5 \text{ m}^3 / 0.032 \text{ m}^3/\text{s}) s]\} p(s) = - \{1.26 / [s(1 + 266 s)]\} p(s) \quad (9)$$

El respectivo diagrama de flujo de señal de las relaciones paramétricas contenidas en ecuaciones (6), (7), (8) y (9) es exhibido en Figura 3. En base a la Regla de Mason[7] aplicada al mismo puede derivarse la función de transferencia volumen líquido-presión de biogas como:

$$p(s)/VI(s) = 1.11E-4 (1 + 500 s) / \{1 + 1.58E6 s + [1.40E-4/s(1 + 266 s)] + 1000 s + 7.90E8 s^2 + [0.070/s(1 + 266 s)] + 2.5E5 s^2\} \quad (10)$$

en la que, eliminando denominadores secundarios y ordenando los términos preponderantes en potencias decrecientes de s en el denominador, se arriba a:

$$p(s)/VI(s) = 1.11E-4 s(1 + 266 s)(1 + 500 s) / (2.10E11 s^4 + 1.21E9 s^3 + 1.58E6 s^2 + 1.07 s + 1.40E-4) \quad (11)$$

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

La estabilidad de la función de transferencia obtenida para el biodigestor puede ser investigada desde tres puntos de vista:

i) su respuesta transitoria, ii) su error en estado estacionario y iii) su respuesta en frecuencia. El primero de los análisis estudia las raíces de la ecuación característica a partir de sus coeficientes por aplicación del Criterio de Routh-Hurwitz[8]. Los coeficientes modificados calculados en base a los extraídos de ecuación (11) son:

s^4	2.10E11	1.58E6	1.40E-4	
s^3	1.21E9	1.07	0	
s^2	1.58E6	1.40E-4	0	
s	0.963	0	0	
s^0	1.40E-4	0	0	(12)

No produciéndose cambios de signo en la primera columna del arreglo se confirma la estabilidad de la respuesta transitoria del biodigestor a partir del posicionamiento de todos los polos del sistema -para los parámetros y criterios adoptados en este artículo- en el semiplano izquierdo del plano s . El cero en el origen observado en la ecuación (11) garantiza un error en el estado estacionario nulo para una variación en escalón del nivel líquido del biodigestor. Para una variación de nivel del tipo rampa $Vl(t) = At$ -de mayor similitud a la asociada a bombas de carga del biodigestor- asumida aplicada en forma permanente, el error de estado estacionario adopta una magnitud finita determinable a partir del Teorema del Valor Final[7] como:

$$e_c(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} e_c(t) = \lim_{s \rightarrow 0} (s / 1.11E-4) [p(s)/Vl(s)] (A/s^2) = 7143 A. \quad (13)$$

y en el dominio de la frecuencia, la estabilidad del biodigestor frente a una variación oscilante del nivel líquido es estudiada a través de la función $GH(j\omega)$ extraída del denominador de la ecuación (11):

$$GH(j\omega) = (2.1E11s^4 + 1.21E9s^3 + 1.58E6s^2 + 0.07s + 1.40E-4) / (s(1 + 266s)) |_{s=j\omega} \approx [(2.10E11\omega^3 - 1.58E6\omega) - j1.21E9\omega^2] / (-266\omega + j) \quad (14)$$

La respuesta en frecuencia de esta función permite la evaluación de la operación del biodigestor en base al Criterio de Nyquist[9]. En particular, el Margen de Fase de este modo de operación surge del exceso de fase respecto a π de $GH(j\omega)$ para la condición $|GH(j\omega)| = 1$. Formulando, a tales efectos, la igualdad de numerador y denominador de la ecuación (14) se arriba a una frecuencia muy reducida de $\omega_j = 6.33E-7$ r/s para la cual el margen de fase supera $\pi/2$.

CONCLUSIONES

Se formuló la función de transferencia de un biodigestor anaeróbico para producción de biogas.

Fue evaluada, con resultados satisfactorios, la estabilidad de dicha función en términos de operación de estado estacionario y respuestas transitoria y en frecuencia del biodigestor con parámetros adoptados en la etapa de proyecto.

La operación del prototipo, a construir en 1999 - 2000, permitirá la verificación práctica del modelo analítico logrado.

AGRADECIMIENTOS

La contribución de los becarios J.J.Ramírez Santis y L.A.Saavedra de Ingeniería Química, L.F.Cabezas y J.L.Fernández de Ingeniería Electrónica del Grupo de Estudios sobre Energía y Ambiente de la U. T. N. - U. A. Confluencia,, en el escrutinio de la vasta literatura química y de control aplicada al presente trabajo es apreciada.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- E. P.Taiganides, "Pig Waste Managment and Recycling -The Singapore Experience", cap. 7 y 10, International Development Research Centre, Canada, 1992
- 2.- R. C. Dorf, "The Electrical Engineering Handbook", pp. 1213-1214, IEEE Press/CRC Press, 1993
- 3.- S. Aiba, A. Humphrey, N. Millis, "Biochemical Engineering", pp. 93-94, University of Tokio Press, 1992
- 4.- A.T. Information - Biogas Digest, "Sizing a Biogas Plant", pp. 1-3, G. T. Z., N° 97, 1996
- 5.- K. T. Rager, "Abwassertechnische und Wasserwirtschaftliche Probleme der Massentierhaltung", pp. 71-72, G. T. Z. N° 97, 1971
- 6.- R. A. Serway, "Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics", pp. 550, Saunders College Publishing, 1965
- 7.- R. C. Dorf, "Modern Control Systems", pp. 46-52, Addison-Wesley Publishing Co., 1967
- 8.- A. Hurwitz, "On the Conditions under Which an Equation has Only Roots with Negative Real Parts", pp. 273-284, Mathematische Annalen, N°46, 1895
- 9.- H. Nyquist, "Regeneration Theory", pp. 126-147, Bell Systems Technical Journal, 1932

**GESTION DE LA FRACCION ORGANICA DE LOS RESIDUOS MUNICIPALES
DE LA CIUDAD DE MAR DEL PLATA**

Gloria Plaza*, Osvaldo Pacheco*, Elsa Scaroni, M. Rita Marteatena**
Máximo Menna***, Susana Jacob*****

**INENCO – CIUNSA – * Facultad de Ingeniería – ** Fac. Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta - Avda. Bolivia 5150. -CP 4400. Salta. Argentina
Email: gloria@ciunsa.edu.ar - Fax: 087 - 255489 – Tel: 087 - 255424**

*****GEEAA – Fac. Ingeniería – Univ. Nac. Mar del Plata - Av. Juan B. Justo 4302. CP 4302. Mar del Plata**

RESUMEN

Se analiza la Gestión de la fracción orgánica municipal de la Ciudad de Mar del Plata que comprende la evaluación estadística de la cantidad generada y su caracterización para diseñar el tratamiento biológico.

La desviación de la materia orgánica para tratamiento biológico, significa un emprendimiento ambiental y técnicamente posible. La justificación económica surge con el análisis de impacto ambiental, como lo demuestran los resultados de los costos y estudio económico desarrollado.

La generación de la fracción orgánica municipal fue de $288,7 \pm 8$ gr./hab-día, y el total dependerá de la fluctuación poblacional debido al turismo, siendo su composición constante y apropiado para un tratamiento biológico. La Gestión de Residuos Orgánicos es factible, con una relación Beneficio/Costo de 1,95.

Palabras Claves: Residuos, Fracción Orgánica Municipal, Gestión Ambiental

INTRODUCCION

La fracción orgánica de los residuos municipales es propia de cada comunidad siendo su composición variada según distintos parámetros que inciden en la misma. La ciudad de Mar del Plata presenta características identificatorias en su consumo de alimentos por ser una comunidad con un importante desarrollo turístico como así también industrial, marcando la duplicación de la población en su época de verano un impacto mayor por la producción de residuos.

En el tratamiento y/o disposición de residuos la tecnología de uso generalizado en nuestro país es el relleno sanitario por ser simple. Esta obra de ingeniería comprende una inversión inicial en el diseño e implementación del mismo con las canalizaciones y conductos para la evacuación y/o aprovechamiento de efluentes, asimismo el control de los mismos requiere un costo durante su operación. Los controles si bien mitigan el efecto negativo en el ambiente no ofrecen una solución definitiva de contaminación al mismo. Estas consideraciones económicas y ambientales se revierten si se tiene en cuenta una alternativa de recolección diferenciada de la fracción orgánica con una tecnología de aprovechamiento anaeróbica-aeróbica.

Se caracterizan los residuos sólidos obtenidos del muestreo (1), en el marco del "Programa de Muestreo de Residuos Sólidos Domiciliarios de la Ciudad de Mar del Plata", en el cual se determinó la composición de los mismos para dos estaciones del año, el estudio se completó para las restantes estaciones como se informó oportunamente (2).

El presente trabajo analiza la gestión de la fracción orgánica municipal de la ciudad de Mar del Plata considerando el diagnóstico, caracterización, tratamiento biológico, evaluación económica y marco reglamentario.

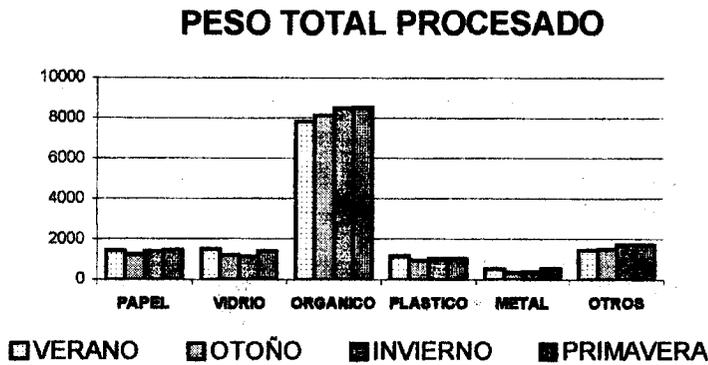
El Municipio del Partido Gral. Pueyrredón, apoya la gestión incorporándola como requisito en el Pliego para la Licitación Pública Nacional e Internacional de la Recolección, Tratamiento y Disposición Final de sus Residuos Sólidos Domiciliarios.

GENERACION DE RESIDUOS DOMICILIARIOS EN LA CIUDAD DE MAR DEL PLATA

La producción media de residuos para la ciudad de Mar del Plata fue de 490 ± 11 gramos por habitante y por día para la campaña 1997 (2), siendo la producción de fracción orgánica de un 59% del valor total (Plástico 8%, Metal 3%, Papel 10%, Vidrio 9%, Otros 11%). La fracción orgánica es ligeramente superior al determinado para otras comunidades (3).

La variabilidad de las distintas componentes en las estaciones del año, se observa en Figura 1. La fracción orgánica merece un estudio particular por su destacada y constante participación en la composición del residuo a lo largo de todo el año. En Tabla 1 se muestra la variación en la generación de residuos orgánicos según la época del año.

Figura 1: Variabilidad por estación de la fracción de los Residuos Sólidos Domiciliarios en la ciudad de Mar del Plata



Estación	Gr. / (viv. semana)	Habit / viv	Gr / (Hab. día)
VERANO	7379 ± 271	3,6	295 ± 11
OTOÑO	7779 ± 201	3,9	288 ± 7
INVIERNO	7874 ± 187	4,0	283 ± 7
PRIMAVERA	7793 ± 180	3,9	289 ± 7

Tabla 1: Fracción orgánica de residuos sólidos domiciliarios

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA

La caracterización físico-química de la fracción orgánica de los residuos sólidos (Tablas 2 y 3), resulta útil para diseñar sistemas de aprovechamiento y/o tratamiento. La biodegradación de la misma puede realizarse por tratamiento aeróbico (compost), anaerobio (biodigestión) o combinado. Se parte de una muestra orgánica generada por un día de la estación en estudio. Se tritura con el fin de homogeneizar para que la muestra resulte representativa. Se realizan los cuarteos sucesivos hasta lograr el tamaño de muestra necesaria para la caracterización en laboratorio.

Los análisis físico-químicos se realizaron según Standard Methods (5). Los resultados de los análisis correspondientes a las muestras estacionales del residuo sólido domiciliario, obtenidas durante el desarrollo del "Programa de Muestreo de Residuos Sólidos Domiciliarios de la Ciudad de Mar del Plata", se muestran en Tabla 2

Estación	Azúcares Totales	Azúcares Reductores	Proteínas	Lípidos	Lignina
	% gr.	% gr.	% gr.	% gr.	% gr.
VERANO	10,55	5,17	13,31	21,2	18,00
OTOÑO	8,67	4,33	18,45	28,28	16,44
INVIERNO	8,12	4,06	11,44	25,12	12,00
PRIMAVERA	8,38	4,20	15,46	23,45	13,83

Tabla 2: Composición química de muestras de distintas estaciones del año

La composición de las macromoléculas en los residuos muestra el comportamiento de la comunidad en el consumo de alimentos, evaluando asimismo un futuro comportamiento de los residuos ante un tratamiento biológico. Para un sistema anaerobio y anaerobio-aeróbico, se prevé que sustratos ricos en proteínas tendrá efecto tampón alcalino elevado, manteniendo la capacidad buffer del sistema, y sustratos con alto contenido en carbohidratos, requieren adición de álcalis. Para un sistema aeróbico un contenido alto en azúcares totales, asegura una fase termofílica eficiente a los fines de remoción de microorganismos patógenos, para el caso de proteínas, una alta concentración prevé una buena calidad de compost. Las ligninas provienen primordialmente de residuos vegetales y resultan de difícil degradación por lo que su evaluación es importante.

Estación	Sólidos Totales	Humedad	Ceniza	Sólidos Volátiles	C/N	N/P
	%	%	% ST	% ST		
VERANO	16,77	83,23	10,41	89,59	24,45	4,02
OTOÑO	26,32	73,68	17,50	82,50	14,74	3,08
INVIERNO	23,38	76,61	28,24	71,76	22,74	2,77
PRIMAVERA	25,71	74,29	14,60	85,40	20,05	4,33

Tabla 3: Características Principales de la Fracción Orgánica según la época del año

Basándose en la relación de los nutrientes (Carbono, Nitrógeno y Fósforo) (tabla 3), se evalúa la tecnología de biodegradación para tratar la fracción orgánica de los residuos sólidos domiciliarios con criterio de sustentabilidad.

La relación carbono a nitrógeno (C/N) no debe exceder el valor de 30 y se considera como valor ideal de 16 a 20 (4), aconsejando para N/P un valor de 7. En las muestras caracterizadas se observa una deficiencia en Nitrógeno, cuya compensación puede dar lugar a un déficit en Carbono, por lo que se aconseja desarrollar una compensación integrada de todos sus nutrientes cuando fuera necesario.

TRATAMIENTO ANAERÓBICO - AERÓBICO

Se desarrollaron ensayos en escala laboratorio en un reactor anaeróbico de 2,5 l de capacidad del tipo semiseco y discontinuo. Se diseñó la recirculación de lixiviado desde su base por medio de una bomba centrífuga y esparcido en el interior del reactor en forma de una lluvia uniforme. Se incorporó una mezcla al reactor compuesta de un 50% de residuos vegetales y 50% de estiércol vacuno (relación C/N 28,28) con el fin de simular una primera carga al reactor o puesta en marcha de un conjunto de reactores.

El reactor produjo un promedio diario de 1,0 litro de biogas con un 60% de metano en los primeros diez días con una reducción de volumen de carga de 50%. En escala piloto, con un reactor de 160 l, se observó similar comportamiento. El posterior tratamiento aeróbico dio lugar a una estabilización sanitaria, obteniéndose un compost madurado en 30 días.

Se extrapola los diseños evaluados a escala laboratorio y piloto para tratar los residuos orgánicos de la comunidad de Mar del Plata, cuya población según estimaciones del INDEC es hoy de 800.000 habitantes, considerando un crecimiento poblacional de 385% en 11 años (INDEC 1.991). Se plantea un diseño para el 10% de la misma, 80.000 habitantes por lo que la capacidad de la planta será de 10.000 Ton/año con una producción de compost anual de 4.300 Ton. La población seleccionada corresponde a los barrios San Carlos, Bosque de Peralta Ramos y Parque Luro al este de la ciudad de Mar del Plata cercanos a la costa.

La instalación final de esta etapa estará operada con 8 reactores de 50 m³ que funcionarán en forma discontinua combinada con el tratamiento aeróbico correspondiente. El diseño de un reactor comprende un recinto prismático de 3,5 x 4 x 4 m³.

ESTUDIO ECONÓMICO

A los fines de comparar los costos de inversión y operativos de un Relleno Sanitario Convencional y el Sistema propuesto, en tabla 4 se expone los costos generales:

CONCEPTO	INVERSIÓN INICIAL \$/ Ton.día	OPERACIÓN \$/ Ton
Recolección	11.000	15 - 30
Relleno Sanitario	3.000 - 10.000	3 - 10
Planta de Compost	20.000 - 30.000	20 - 40
Biodigestión + Compost	35.000 - 50.000	40 - 80

Tabla 4 : Costos referenciales de inversión y operación

La corriente ambientalista ha generado una inusitada demanda de los productos reciclados, en especial el Compost o abono orgánico. Los bienes a producir, podrán ser comercializados en la Ciudad de Mar del Plata y alrededores.

Para evaluar el Impacto Ambiental, se determinan los Costos de Inversión y de funcionamiento del Proyecto y se los compara con los Beneficios producidos por los Cambios de Bienestar que éste genera; se calcula la relación Beneficio / Costo y se verifica la conveniencia económica - social - ambiental de implementar el Proyecto.

Inversión Necesaria

Inversión Total del Proyecto: \$ 130.000.-

Costos de Funcionamiento

Se determinan los Costos de Funcionamiento como la suma de los Costos de Insumos y Materiales, Mano de Obra, Gastos Generales de Fabricación directos e indirectos, Gastos de Administración, Costos de Comercialización e Impuestos. Se incluye también el Costo de la Campaña de Concientización y Difusión. Costos Totales de Funcionamiento: \$ 215.097 / Año

Ingresos por Ventas

Se determinan los Ingresos por Ventas de los productos que desarrollará el Proyecto. Para ello, se estudian los volúmenes de Materia Prima a tratar a partir del Muestreo y Caracterización de Residuos de Mar del Plata desarrollado oportunamente (1). Se fijaron los precios de los productos consultando en el medio local con algunos acopiadores de "mantillo" y/o tierra o abono para plantas. Se espera una producción inicial anual de compost de 1.740 Ton los dos primeros años. Ingresos Esperados por Ventas: \$ 208.800 / Año

Ingresos - Egresos del Proyecto: - \$ 6.297 / Año. Costo resultante: 3,62 \$/Ton

Estimación económica del Impacto Ambiental

Las Inversiones a realizar con el proyecto, deben controlar o mitigar los efectos negativos sobre los Recursos Naturales y el Bienestar de las Personas, y mejorar la Calidad Ambiental. Se proyecta la situación futura sin proyecto para luego estudiar los cambios que incorpora la situación futura con proyecto. Como consecuencia de ello, se ponderan en una primera instancia algunos de los beneficios consignados como cambios medibles en el contexto del proyecto, los que se continuarán investigando, determinando los valores siguientes:

1. Cambios en la Producción: Los suelos se podrán recuperar a razón de 130 Ha por año, gracias al agregado de compost que se producirá, lo que genera un ahorro de \$ 26.000 / Año por no uso de fertilizantes químicos, además de prolongar la vida útil de la tierra.
2. Cambios en la Calidad Ambiental: La clasificación domiciliaria de residuos forzará a una disposición final de residuos controlada y sin efecto negativo para el ambiente, que se traduce en un ahorro en gastos de salud pública de \$ 115.200 / Año por eliminar un foco de contaminación, considerando un costo de \$ 40 / cama-día.
3. Cambios en el Bienestar de las Personas: Ahorro en la población de \$ 20.000 / Año por disminución de fuentes de transmisión de enfermedades.
4. Los beneficios asociados al proyecto se perciben por la diferencia de no haber recuperado el terreno con Bioabono y/o Compost, que se traduce en el ahorro de \$ 50.000 por no compra de terreno adicional al disminuir los residuos a enterrar.

En su etapa inicial, el proyecto por sí mismo no cubre los costos con sus ingresos, haciéndolo impracticable como proyecto económico financiero, situación que se revierte en el tercer año de vida. Para mostrar la conveniencia de la implementación del mismo, se consideran las "externalidades" relacionadas con los beneficios asociados a las situaciones de Bienestar que sus Cambios generan en el contexto. Estos Impactos Ambientales positivos son de tal magnitud que el Proyecto, resulta de vital importancia para la Comunidad de Mar del Plata.

Total de Beneficios por "Externalidades" generados por el Proyecto: \$ 211.200 / Año

Aspectos Legales, Institucionales y de Organización

Desde el punto de vista Institucional, el proyecto se efectivizará resguardado en el Pliego de bases y condiciones por el que se convoca a una Licitación Pública Nacional e Internacional.

CONCLUSIONES

El Municipio del Partido Gral. Pueyrredón, apoya la gestión incorporándola como requisito en el Pliego para la Licitación Pública Nacional e Internacional de la Recolectión, Tratamiento y Disposición Final de sus Residuos Sólidos Domiciliarios.

La fracción orgánica municipal es prácticamente constante en su composición, pudiendo variar su cantidad al aumentar la población estacional por el turismo. El sistema combinado anaeróbico - aeróbico es apropiado y versátil para tratar la totalidad de la materia orgánica generada en la comunidad.

El Impacto Ambiental que generan los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Mar del Plata en el marco actual, y los cambios positivos que le agrega el Proyecto, hacen revertir totalmente la situación.

El costo operativo resultante de \$ 3,62 / Ton, similar al mínimo costo operativo de un Enterramiento Sanitario, sin considerar la valoración del Impacto Ambiental positivo a favor del sistema propuesto, además de los indicadores económicos B/C de este proyecto, muestra la conveniencia de implementarlo. Por tratarse de una Experiencia Piloto, para luego escalar a la Ciudad de Mar del Plata, con más de 800.000 habitantes, se justifica la Inversión, en especial si se verifica que los ingresos superarán a los costos de funcionamiento al cabo del tercer año.

Relación Beneficio / Costo del proyecto, sin las externalidades al proyecto: $208.800 / 215.097 = 0,9$

Relación Beneficio / Costo del proyecto con externalidades: $420.000 / 215.097 = 1,95$

El defasaje entre ambos indicadores mide cuán importante es para la Sociedad y el Ambiente el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) M. Menna, S. Jacob, O. Noguera, G. Plaza, J. Cid, H. Di Veltz, O. Pacheco. Muestreo Piloto de Residuos Sólidos Domiciliarios de la ciudad de Mar del Plata- Argentina para verano y otoño. Libro de Memoria del IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente. CIMA 97.
- (2) M. Menna, S. Jacob, O. Noguera, G. Plaza, J. Cid, H. Di Veltz, O. Pacheco. Informe Presentado al Ente Municipal de Servicios Urbanos, Municipalidad de General Pueyrredón (EMSUR). GEEAA - FI - UNMDP, LEA - FI - UNSa
- (3) G. Plaza, O. Pacheco, P. Robredo, A. Saravia. Muestreo de Residuos Municipales Clasificados. Actas XVII ASADES. Rosario. 1.994
- (4) G. Gloria. It Handbook for training course on rural biogas. 1983.
- (5) Standard Methods for the examination of wastewater. APHA, AWWA, Water Pollution Control Federation, 14 th Edition, Washington D.C. 1997.

FERMENTACIÓN ANAERÓBICA DE LOS RESIDUOS DE LA OBTECIÓN DEL PRINCIPIO ACTIVO DEL *CARDO MARIANO (SILYBUM MARIANUM L.)*

Aída Evelia Rolando - Roberto Rubén Díaz
Departamento de Ciencias Básicas - Universidad Nacional de Luján
Cruce Ruta 5 y 7 - Prov. de Bs. As. (6700) Luján - Tel. 0323-20380 / 0323-21030 - Fax 0323-23064
Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza la factibilidad técnica de realizar el tratamiento por digestión anaeróbica de los residuos obtenidos en el procesamiento de los frutos del *Cardo Mariano (Silybum marianum L.)* para la obtención de su principio activo, de uso medicinal; la silymarina. Los residuos producidos son de dos tipos:

- ❖ La pepita o semilla propiamente dicha, molida, que se descarta por su inutilidad.
- ❖ El pericarpio, impregnado en solvente, de donde se ha extraído el principio activo.

Igual que las experiencias realizadas con otros residuos, se implementaron ensayos a los efectos de evaluar los parámetros del proceso. Se diseñaron experiencias a escala de laboratorio.

Los ensayos realizados sobre los residuos del primer tipo, mostraron una buena adaptabilidad de las bacterias a este sustrato con temprana producción de biogás. Se muestran en este trabajo, los datos obtenidos

En estos momentos se comienza a trabajar con el segundo tipo de residuos.

INTRODUCCIÓN

La producción de plantas aromáticas y medicinales se presenta como una alternativa a considerar para la diversificación de los cultivos tradicionales (trigo, lino, cebada) con posibilidades de aplicación a amplias zonas de nuestro país, en particular en la pampa húmeda.

De dichas especies es factible la obtención de sus aceites esenciales o principios activos medicinales a través de procesos industriales tales como la destilación o la extracción por solventes. Los residuos del proceso industrial constituyen un material con características contaminantes por lo que requiere de algún tratamiento posterior a los efectos de permitir su disposición final sin riesgos de polución.

Estos residuos están constituidos generalmente por ácidos grasos, derivados proteicos, celulosa, etc. lo que constituye de por sí una excelente materia prima para la aplicación de la digestión anaeróbica como metodología de tratamiento. Es de destacar en este sentido que en la producción de estas especies aromáticas y medicinales se han determinado importantes beneficios en cuanto a mejoras de rendimiento por la aplicación de fertilización nitrogenada y fosforada. Si bien la bibliografía no registra antecedentes específicos respecto de esta aplicación resulta útil tomar como referencia datos obtenidos sobre otros residuos similares provenientes de procesos de industrialización.

Así, en la industrialización del aceite de palma, Ma A. N. y Ong A. (et al) mencionan que el tratamiento del residuo por un sistema combinado de digestor anaeróbico - laguna de aireación arroja una eficiencia en la remoción de DBO del 93 % en la etapa anaeróbica y del 99 % al final del proceso. A su vez el efluente final del proceso posee nutrientes importantes (nitrógeno = 900 mg/lit, fósforo 220 mg /lit), por lo que posee características que permiten su utilización como fertilizante a los efectos de lograr importantes mejoras en el rendimiento de las distintas especies, principalmente, las aromáticas.

Así es el caso de este trabajo que nos ocupa: el procesamiento del fruto del *Cardo Mariano (Silybum marianum L.)* para la obtención del principio activo, de uso medicinal, la silymarina. deja, dos residuos:

- ❖ Uno constituido por la parte interna de los frutos, es decir las pepitas o semillas propiamente dichas, partidas con un alto contenido de almidón y bajo contenido celulósico.
- ❖ El otro residuo es el pericarpio, también triturado, impregnado en solvente que proviene de la extracción del principio activo.

En el presente trabajo nos ocupamos del primer tipo de residuos. Con respecto al segundo tipo de residuos estamos recién ahora comenzando su estudio.

Resulta de interés evaluar la factibilidad técnica y económica de realizar el tratamiento por digestión anaeróbica de dichos residuos con vistas a que la industria local disponga de una tecnología adecuada a los efectos de que pueda incorporarla a su esquema de producción.

OBJETIVOS

1. Determinar la factibilidad técnica - económica de realizar el tratamiento de los residuos que quedan al sacar el pericarpio del fruto del cardo mariano por digestión anaeróbica.
2. Determinar los valores óptimos de los parámetros del proceso.
3. Evaluar el rendimiento del proceso a través de la cantidad del biogás obtenido.

MATERIALES Y MÉTODOS

A semejanza de experiencias realizadas con otros residuos para determinar la factibilidad de su tratamiento por digestión anaeróbica se procedió, a través de un análisis, a realizar una caracterización físico - química del material.

Posteriormente se analizó la digestibilidad del residuo utilizando un medio inoculado con material previamente digerido: estiércol vacuno

Se determinaron los rendimientos utilizando distintos parámetros de medición: volumen de biogás, DQO, ST, SV.

Los ensayos de fermentación se realizaron en digestores discontinuos de laboratorio de 2,0 litros a temperatura controlada en estufa a $37 \pm 1^\circ \text{C}$.

Se trabaja sobre residuos de frutos de *Cardo Mariano (Silybum Marianum L.)*, de los que se ha sacado la parte que contiene el principio activo (pericarpio).

Los parámetros de trabajo son:

- Temperatura: $35 - 37^\circ \text{C}$
- pH : 6,5 - 7,5
- Sólidos totales: 2,5 a 6 %
- Operación discontinua

RESULTADOS

El digestor fue operado durante 71 días solamente con estiércol vacuno, con los siguientes parámetros de arranque:

Volumen del contenido del digestor: 1,750 litros

	ST %	SV %	SF %	pH	DQO mg de O_2 /litro	Vol. de gas (ml)	% de remoción de DQO
Arranque	4,49	85,71	14,28	6,07	24,650		
71 días	2,49	75,20	24,89	7,07	1.270	17.800	94,8

A los 71 días de trabajo se agregaron 2,14 g de residuos de semillas de Cardo Mariano seco con las siguientes características:

Sólidos fijos :	5,57 %
Sólidos volátiles:	94,43 %
Humedad:	5,67 %

A los 7 días de funcionamiento del digestor con los residuos de las semillas de cardo mariano, se tomó muestra, se analizó. Los resultados fueron los siguientes:

	ST %	SV %	SF %	pH	DQO mg de O_2 /litro	Vol. de gas (ml)
7 días	2,65	86,5	13,5	7,00	3.320	790

Como se puede observar en el gráfico N° 1 y N° 2, a los 71 días de funcionamiento del digestor, el mismo prácticamente, deja de producir biogás. Cuando se le agregan los residuos de las semillas estudiadas, a pesar de ser muy poca cantidad, se reactiva.

A los 7 días se agregaron nuevos residuos; 4,36 g (seco)

A los 19 días de funcionamiento con el nuevo agregado de residuos se tomó nuevamente muestras del digestor y se analizaron

Los valores hallados son los siguientes:

	ST %	SV %	SF %	pH	DQO mg de O_2 /litro	Vol. de gas (ml)
19 días	2,27	72,17	27,82	7,20	1.300	3.214

A los 19 días se realiza un nuevo agregado de residuos, mayor a cada uno de los anteriores: 5,83 g, (seco).

Como se puede observar en los gráficos a mayor cantidad de residuos de semillas, responde el sistema biológico con una mayor producción de biogás, aumentando la pendiente de la curva de producción en los primeros 7 días de funcionamiento.

Gráfico N°1

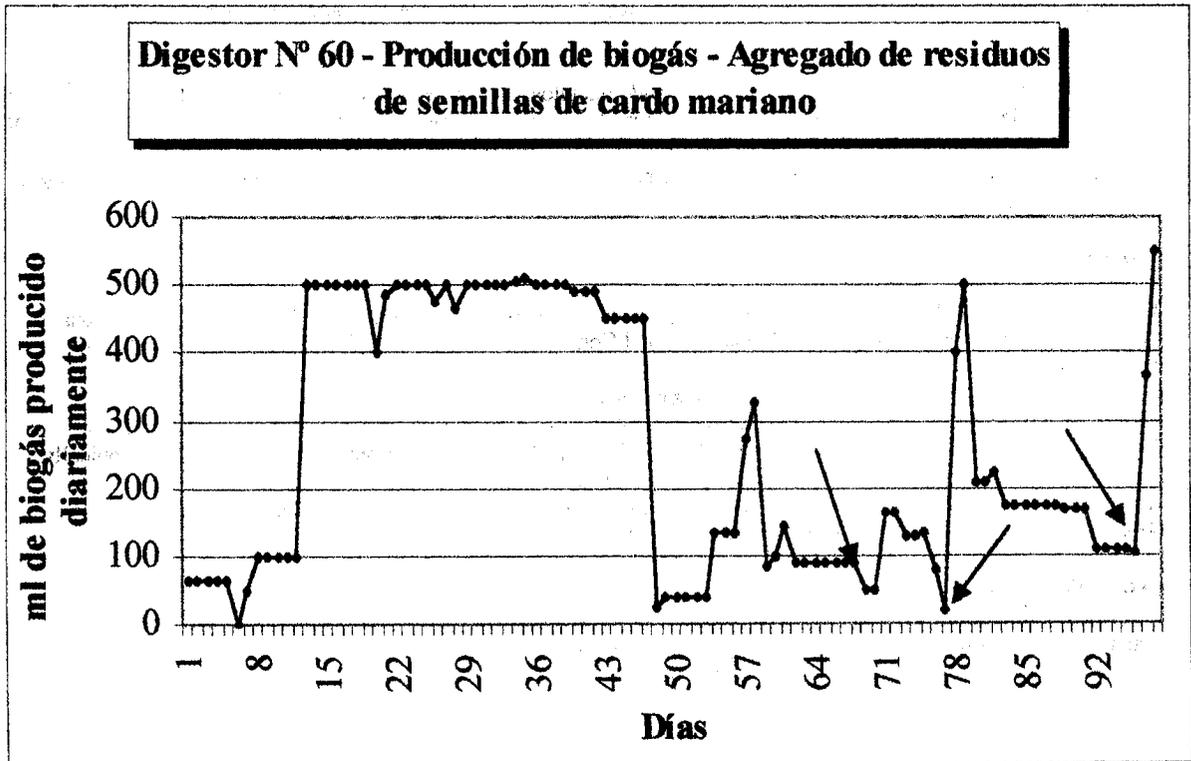
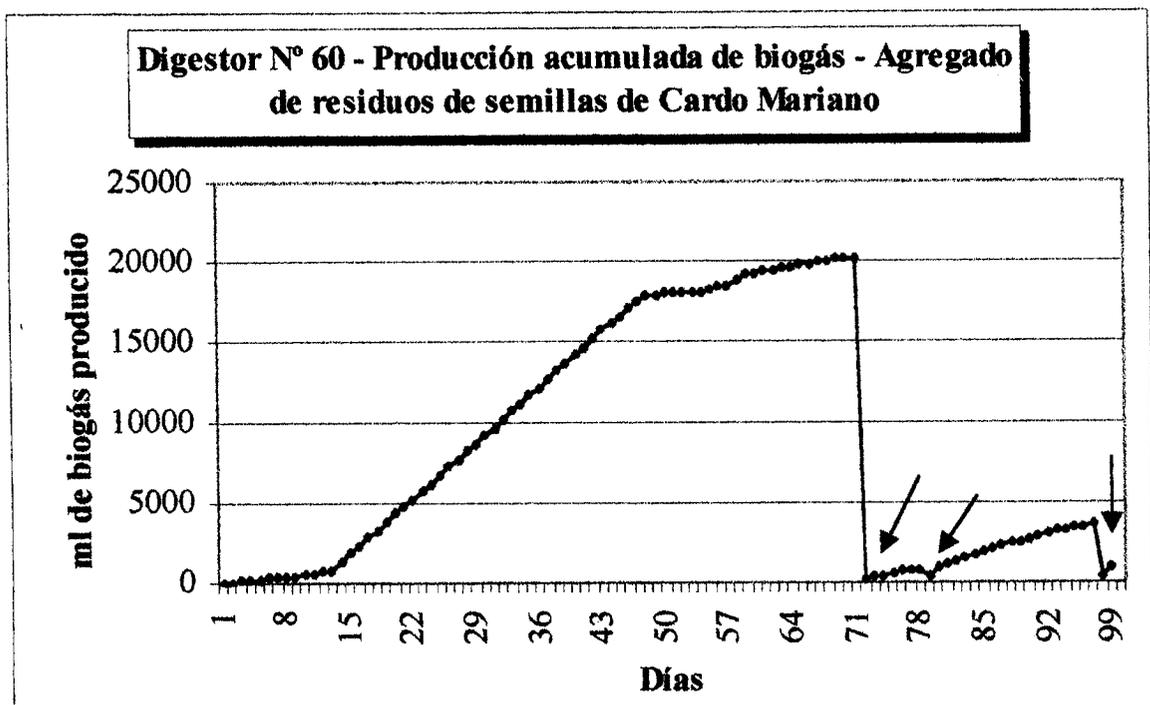


Gráfico N°2



CONCLUSIONES

Los primeros ensayos realizados sobre residuos de frutos de Cardo Mariano producidos en el proceso de extracción del principio activo, *sylimarina*, han indicado una buena adaptación de las bacterias a estos sustratos, con producción temprana de gas.

En los gráficos que se exponen, se observa el aumento en la producción de biogás cuando se le agrega al digestor distintas cantidades de residuos, observándose una correlación entre la cantidad de residuos agregados y la cantidad de biogás producido.

En próximos trabajos se estudiarán el rendimiento utilizando distintos parámetros de medición: volumen de biogás expresado en ml por gramo de sólidos volátiles destruidos, volumen de biogás por gramo de DQO decaído y porcentaje de DQO decaído.

Por otra parte se estudiará la digestibilidad el residuo de pericarpio del fruto del cardo mariano impregnado en solventes, del cual se ha extraído la *sylimarina*.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ DÍAZ Roberto R. - ROLANDO Aída E. (1994) - "Residuos de la obtención de aceites esenciales a partir de las plantas aromáticas. - Su depuración por digestión anaeróbica" I Congreso Internacional - IV Congreso Argentino de Ingeniería Rural - Morón - Bs. As.
- ✓ MONTENEGRO Ingeniería Química y Química Aplicada"
- ✓ MA A. N. - ONG Augustine (1985) - "Pollution Control in Palm Oil Mills in Malaysia - JAOCS, Vol 62, Nº 2 -
- ✓ LEVI-MINZI R. - RIFFALDI R. - SAVIOZZI A. - CARDELLI R. (1995) - "Decomposition in soil of anaerobically digested olive mill sludge" - J. Environ. Sci. Health, A30(7), 1411-1422
- ✓ .CURIONI Ana - GARCÍA M. - "Perspectivas y descripción del cardo asnal (*Silybun Marianum L.*) - Carpeta de Producción Vegetal - INTA Pergamino - Tomo 13 - Informe Nº 122

AGRADECIMIENTO

A la firma TOLBIAC S.R.L. por proveernos de los residuos de las semillas de Cardo Mariano.

CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO Y METALES EN LÍQUIDOS DE ENTRADA Y SALIDA DE FILTROS ANAERÓBICOS ALIMENTADOS CON LIXIVIADO

M.S. Alonso, S.R. Barberis, M.B. Amador, J.C. Jerez
 Facultad de Ingeniería (INTEMI) - Universidad Nacional de Jujuy
 Tel. (088)221592, Fax (088) 221588, Email: computos@fi.unju.edu.ar

RESUMEN

Se estudió la influencia de la eliminación parcial previa de metales y del sentido de la corriente de alimentación sobre la concentración de arsénico, cadmio, cromo, plomo y hierro, para lo cual se analizaron muestras de entrada y salida de una serie de tres filtros anaeróbicos alimentados con lixiviados de un vertedero de residuos sólidos de Jujuy. Sólo los valores de contenido de plomo y hierro superaron los límites fijados por las normas de saneamiento. La reducción de la concentración de cada elemento fue más notoria en el caso del hierro, en tanto para el plomo fue apenas perceptible. Prácticamente no se observó influencia alguna del sentido de la corriente de alimentación sobre el grado de consumo de estos elementos en los reactores. Al comparar los filtros alimentados con lixiviado crudo y previamente coagulado se encontró para el primero un ligero consumo de cadmio, en tanto para el segundo el consumo de hierro fue importante.

INTRODUCCIÓN

El contenido de arsénico y de algunos metales (cadmio, cromo, plomo) en líquidos residuales no debe superar ciertos valores máximos, según lo establecen las normas de descarga a cuerpos receptores (Poder Ejecutivo de Jujuy, 1995) pues tienen diversos efectos nocivos sobre la salud (Ministerio de Salud Pública de Argentina, Tomo I, 1983; Casarett y Doull, 1996). Las sustancias que contienen estos elementos químicos pueden provenir de alimentos y bebidas o de desechos originados por la actividad minera o de industrias diversas (Ministerio de Salud Pública de Argentina, Tomo I, 1983; Casarett y Doull, 1996). Debido al potencial peligro para la salud que constituyen el arsénico y los metales mencionados, es necesario evitar el contacto de las posibles fuentes contaminantes con aguas superficiales o profundas. En el caso de lixiviados de rellenos sanitarios susceptibles de contener estos contaminantes, lo más aconsejable es extraer los líquidos de lixiviación apenas formados y someterlos a un tratamiento de descontaminación apropiado antes de su disposición final (Wilkin, 1995).

Como estos lixiviados contienen cantidades más o menos importante de materia orgánica contaminante, suelen ser sometidos a un tratamiento biológico de descontaminación. En el caso que el tratamiento elegido sea anaeróbico, el efecto de los metales contenidos en el líquido residual puede ser beneficioso o perjudicial, dependiendo de las concentraciones en que se encuentren presentes. Tal es el caso del hierro, que tiene un efecto estimulante para la actividad de los metanógenos en concentraciones de alrededor de 0,023 mgFe/mgAc consumido, en tanto puede resultar perjudicial para la digestión anaeróbica metanogénica en concentraciones elevadas, cuyo valor depende de las especies bacterianas que actúen (Speece, 1996).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras analizadas provinieron de los líquidos de entrada y salida de tres filtros anaeróbicos, con un volumen total de aproximadamente 7 l cada uno y rellenos con esponja poliuretánica. Los reactores trabajaron a 30°C, con alimentación continua, preparada con lixiviados extraídos de un vertedero de Jujuy, en donde se disponen residuos sólidos, enterrándolos. Se estudió la influencia del sentido de la corriente de alimentación y de la eliminación parcial previa de metales mediante el agregado de un coagulante al lixiviado crudo. Las características distintivas de los reactores se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los filtros anaeróbicos

REACTOR	ALIMENTACIÓN	
	NATURALEZA	SENTIDO
1	Lixiviado crudo	Descendente
2	Lixiviado coagulado	Descendente
3	Lixiviado crudo	Ascendente

La concentración del lixiviado se hizo por el método de jarras ("jar-test"), empleando sulfato de aluminio al 1%, y según la técnica propuesta por Goransky *et al.* (1990). Las muestras extraídas fueron digeridas con ácido nítrico, según la técnica del

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1992), y se analizó en ellas el contenido de arsénico, cadmio, cromo, plomo y hierro empleando un espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN 1000, con las condiciones mencionadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de análisis por espectrofotometría de absorción atómica.

ELEMENTO	LONGITUD DE ONDA [nanómetros]	GASES
Arsénico	194	Aire y Acetileno
Cadmio	229	
Cromo	359	
Plomo	217	
Hierro	248	

Por otra parte, se realizaron otras determinaciones a las muestras, que no se presentan aquí por cuanto el objetivo de este trabajo es el de analizar la reducción parcial (si la hubo) del contenido de cada uno de los elementos estudiados, ya sea por coagulación del lixiviado o por digestión anaeróbica metagénica del mismo en diferentes condiciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en estos ensayos.

Tabla 3. Concentración de arsénico y metales en las muestras de entrada (E) y salida (S) de los filtros anaeróbicos.

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN [mg/l]					
	REACTOR 1		REACTOR 2		REACTOR 3	
	E	S	E	S	E	S
Arsénico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cadmio	0,024	0,021	0,023	0,023	0,024	0,021
Cromo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plomo	0,22	0,22	0,11	0,11	0,22	0,22
Hierro	8,8	8,5	6,9	2,7	8,8	8,6

Si se comparan los resultados obtenidos con los valores máximos fijados por la reglamentación de Jujuy para descarga a cuerpos receptores para los elementos estudiados (Poder Ejecutivo de Jujuy, 1995), según la Tabla 4, se puede concluir que solamente en el caso del plomo, y sobre todo para las muestras de entrada y salida de los dos reactores alimentados con lixiviado crudo, los valores hallados superan a los establecidos por las normas de referencia.

En cuanto al hierro, si bien su concentración máxima no ha sido incluida en la reglamentación actual de Jujuy para volcamiento de efluentes, los valores obtenidos merecen especial atención pues superan en todos los casos los valores límites para el hierro de las normas de saneamiento de Jujuy vigentes hasta 1995 (Gobierno de Jujuy, 1988). La inclusión de una concentración máxima para el hierro tanto en normas de otras ciudades de Argentina como de otros países obedece a la coloración y al sabor amargo que este elemento confiere a las aguas que lo contienen.

Tabla 4. Valores máximo de concentración de arsénico y metales para la descarga de líquidos residuales a cuerpos receptores según las normas de Jujuy (Argentina).

ELEMENTO	UNIDADES DE CONCENTRACION	LÍMITES MÁXIMOS (REGLAM. JUJUY)
Arsénico	mg/l	0,10
Cadmio	mg/l	0,1
Cromo	mg/l	0,2
Plomo	mg/l	0,1

Si, por otra parte se comparan los resultados de las muestras de entrada con las de salida para cada reactor, se observa que, para los reactores alimentados con lixiviado crudo hubo una leve disminución de la concentración de cadmio y de hierro entre las muestras de entrada y las de salida respectivas. En el caso del reactor alimentado con lixiviado previamente coagulado, la disminución en el contenido de hierro a través del filtro anaeróbico fue notoria.

En cuanto a la influencia del sentido de la corriente de alimentación, sobre el grado de eliminación de los diferentes elementos, prácticamente no se observa su existencia.

En lo que respecta a la eliminación parcial previa de los elementos estudiados, comparando la composición del lixiviado crudo con la del coagulado, se observa que la coagulación provocó una prácticamente imperceptible disminución en el contenido de cadmio, un leve descenso en la concentración de plomo y una notable reducción en el contenido de hierro.

Y si se analiza la influencia, sobre la reducción de estos metales durante el proceso de digestión anaeróbica metanogénica, de la eliminación parcial previa por coagulación, se puede concluir que sólo hubo una pequeña reducción del contenido de cadmio y del de hierro en el filtro alimentado con lixiviado crudo, en tanto el descenso de la concentración de hierro en el reactor alimentado con lixiviado coagulado fue considerable.

Los valores hallados en este estudio para los líquidos de salida no pueden ser comparados con los de la bibliografía disponibles, para descontaminación anaeróbica de lixiviados con filtros anaeróbicos (Henry *et. al.*, 1982; Carter *et al.*, 1984), ya que en los trabajos de otros autores no se informan resultados al respecto.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica y Estudios Regionales de la U.N.Ju..

REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WEF (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18 a.edición, pp.3.1,3.5. Editado por A.E. Greenberg, L.S. Clesceri y A.D.Eaton, Washington, Estados Unidos de Norteamérica.
- Casarett, L.J., Doull, J. (1986). *Toxicology*, 3ª edición, pp.558-614. Editado por C.D. Klaasen, M.O. Amdur y J. Doull, Macmillan Publishing Company, New York, Estados Unidos de Norteamérica.
- Gobierno de la Provincia de Jujuy. Dirección de Agua Potable y Saneamiento (1988). *Recopilación de Instrumentos Legales*. Contaminación, p.17, Jujuy, Argentina.
- Ministerio de Salud Pública y Medio Ambiente de Argentina (1983). *Técnicas de Laboratorio de Análisis de Agua*, Tomo I, pp.26-33, 49-60. Dirección Nacional de Saneamiento Ambiental, Buenos Aires, Argentina.
- Ministerio de Salud Pública y Medio Ambiente de Argentina (1983). *Técnicas de Laboratorio de Análisis de Agua*, Tomo II, pp.101-103. Dirección Nacional de Saneamiento Ambiental, Buenos Aires, Argentina
- Poder Ejecutivo de la provincia de Jujuy (1995). Decreto 3218. *Normas para desagües a cursos receptores*, Anexo 2, Jujuy, Argentina.
- Speece R.E. (1996) *Anaerobic Biotechnology*, 1a. edición, pp.23,221-244. Archae Press, Tennessee, Estados Unidos de Norteamérica.
- Vazoller R.F. y Figueiredo M.G. (1989). Tratamiento biológico de residuos orgánicos líquidos, Tomo II, pp63-64. CABBIO-IPT, São Paulo, Brasil.
- Wilkin, P. (1995). Emisiones y lixiviados de vertederos. *Gestión de desechos*, Marzo, 53-54.
- Goransky R.A., Higa L.E., Morales S.E.(1990). *Informe final INCYTH-CEAMSE del estudio de tratabilidad de lixiviados de rellenos sanitarios*, pp.47-48. CEAMSE, Buenos Aires, Argentina.

TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA INDUSTRIA DEL TABACO

Walter A. Tejerina*, Diego Capelli*, Gloria Plaza**

* Facultad de Ingeniería - CIUNSA

** Profesional del CONICET - Facultad de Ingeniería - INENCO

Universidad Nacional de Salta - Buenos Aires 177 - Salta (4400) - Argentina

Fax 54-87-255489

RESUMEN

El presente trabajo establece un sistema de tratamiento para la transformación de la materia orgánica de los residuos de la industria del tabaco; evaluando la calidad del producto obtenido para su posterior aplicación en suelos, ya sea como abono orgánico o para ser utilizado como alimento de lombrices (*Eisenia foetida*).

Se desarrollaron experiencias en escala laboratorio y piloto, evaluando distintas mezclas de polvo de tabaco con residuos disponibles en la zona. Se proyectó la mejor mezcla a escala industrial, habiéndose tratado aeróbicamente todos los residuos de la campaña 97/98.

Las mezclas que se experimentaron fueron de polvo de tabaco con residuos sólidos urbanos, estiércol vacuno, estiércol de aves, lodos cloacales y residuos vegetales. Las mezclas de estiércol vacuno y de residuos domiciliarios con polvo de tabaco presentan una remoción de sólidos volátiles del orden del 30% p/p y una concentración media de 3,7% de Nitrógeno, 0,75% de Fósforo y 7,4% de Potasio.

Palabras claves

Residuo, polvo de tabaco, tratamiento biológico, compostaje.

INTRODUCCION

En la provincia de Salta la explotación de tabaco ocupa un importante lugar desde el punto de vista económico. La empresa Massalin Particulares situada en Rosario de Lerma, Salta; produjo aproximadamente 1.300 toneladas de polvo de tabaco para el periodo 97/98. A partir del Convenio firmado entre Massalin Particulares S.A. y la Universidad Nacional de Salta y dentro del Programa de Investigación y Desarrollo sobre Reciclado del Polvo de Tabaco, se propone el tratamiento biológico del mismo en forma aeróbica.

El tabaco crece normalmente como planta anual. Como otras especies vegetales puede desarrollarse en distintos tipos de suelos, pero el desarrollo alcanzado como así también la calidad de la hoja obtenida estará directamente ligada a las características físicas y químicas del suelo sobre el cual está asentado. Las provincias de Salta y Jujuy ofrecen una vasta gama de suelos desde el punto de vista físico. El pH oscila de neutro a ligeramente alcalino (6.5 a 7.5). Son suelos generalmente pobres en materia orgánica, con contenido mediano a pobre en nitrógeno, muy pobres en fósforo y medianamente provistos en potasio (Ullivarri, 1990).

La aplicación a los suelos de la materia orgánica contenida en la mayoría de los residuos no puede hacerse directamente. Se requiere estabilizar dichos residuos, eliminar los organismos patógenos y/o fitopatógenos que puedan contener y llegar a una granulometría y características físico - químicas, que permitan su manipulación e incorporación al suelo.

El compostaje es la descomposición biológica, aerobia, de residuos orgánicos, en condiciones controladas (contenido de nutrientes, oxígeno y humedad adecuada). Se consigue así, disminuir el contenido de materia orgánica, aumentar el contenido de materia seca, higienizar por calor y alcanzar un residuo rico en componentes humificadas, sales minerales y microorganismos (González Carcedo, 1996).

Hacia mediados de los '70 el compostaje cobro importancia como alternativa económica y ambientalmente efectiva para la estabilización y disposición final de los residuos sólidos. El incremento de las exigencias de la regulación de contaminación del aire y los requerimientos para la disposición de los residuos, con el acortamiento de la vida útil de los rellenos sanitarios, han incrementado el desarrollo del compostaje como opción viable de manejo (Metcalf & Eddy, 1991).

El presente trabajo tiene por objeto obtener bioabono por degradación aeróbica del polvo de tabaco y analizar su posible aprovechamiento mediante lombricultura.

MATERIALES Y METODOS

Los dispositivos utilizados a escala laboratorio fueron construidos con envases de polietileno de alta densidad de 20 litros de capacidad, a los que se les practicaron seis perforaciones circulares de 3 cm de diámetro en las paredes laterales y una perforación de 1 cm de diámetro en el fondo para la evacuación de lixiviado.

Las muestras introducidas en los dispositivos fueron de polvo de tabaco puro y mezclas de residuos (70/30% p/p) de:

- 1- Polvo de tabaco con estiércol vacuno.
- 2- Polvo de tabaco con residuos avícolas (mezcla de estiércol de pollos, pajas y plumas).
- 3- Polvo de tabaco con lodos cloacales extraídos de la laguna de estabilización de Rosario de Lerma.
- 4- Polvo de tabaco con residuos vegetales principalmente hojas y pajas.
- 5- Polvo de tabaco con la fracción orgánica de los residuos provenientes del comedor de la planta de Massalin Particulares - Rosario de Lerma, especialmente cáscaras y desperdicios vegetales, los cuales fueron sometidos a un pretratamiento de molienda para lograr un tamaño de partícula de 2 a 2,5 cm.

Asimismo, se ensayaron distintas proporciones de estiércol vacuno en el polvo de tabaco (15, 30 y 50% p/p), para conocer la mínima concentración de estiércol necesaria para el compostaje del polvo de tabaco.

Se caracterizaron las distintas muestras al inicio y final del compostaje en: sólidos totales % p/p (S.T.), sólidos volátiles % p/p de S.T. (S.V.), Nitrógeno total, Fósforo total, Sodio y Potasio total, Calcio y Magnesio totales, según Standard Method (APHA, 1985). Durante el proceso, se aplicó una agitación manual los días indicados y se efectuaron diariamente las lecturas de pH y temperatura de cada una de las masas en compostaje.

Se desarrollaron dos experiencias a escala laboratorio, la primera al aire libre y la segunda bajo cubierta con temperaturas ambiente comparables a la anterior. La escala piloto se desarrolló disponiendo directamente sobre el terreno, las distintas mezclas realizadas. Se operaron en forma similar a la escala real.

RESULTADOS Y DISCUSION

El polvo de tabaco se obtiene con un 8-12% de humedad y contiene entre 18-25% de materias nitrogenadas, 25-50% de hidratos de carbono, 6-8% de grasas, 14-23% de cenizas, 2-4.5% de nicotina, 6-18% de azúcares reductores y 16-27% de lignina.

Se analizaron las alternativas de humectación con agua residual y con agua de río. El agua residual tiene una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 135 mg/l y pH de 7,5, a diferencia el agua de río tiene DBO despreciable y pH neutro.

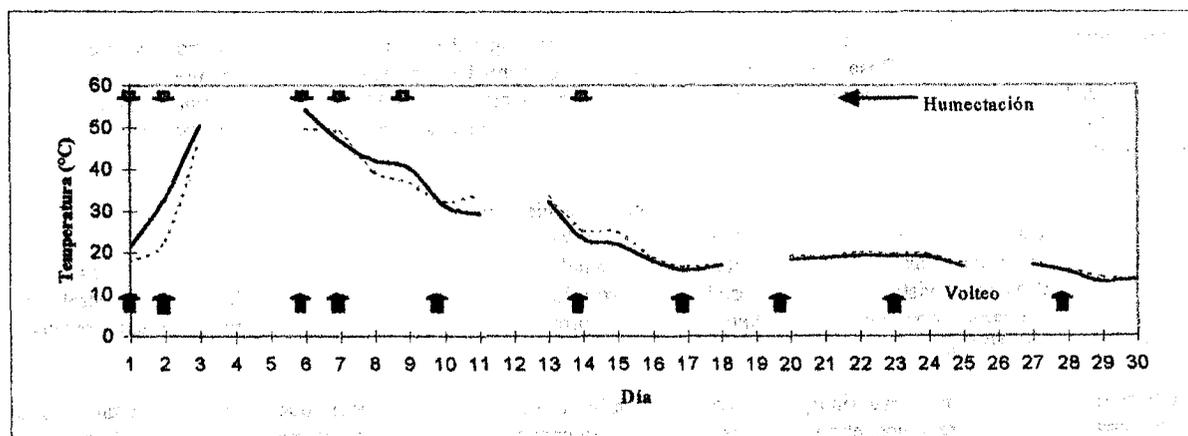


Figura 1: Evolución de temperatura Mezcla 30% p/p Estiércol vacuno y 70% Polvo de tabaco
 — con agua residual con agua de río

En la Tabla 1 se muestra la calidad del producto obtenido de la mezcla de polvo de tabaco con 30% p/p de Estiércol vacuno.

Tabla 1: Composición del producto final en porcentaje de materia seca.

Mezcla de polvo de tabaco con 30 % de estiércol vacuno	Propuesta de normas sobre compost elaborada por Lorea		
	Agua residual	Agua de río	
Nitrógeno total (%)	3.25	3.92	Superior al 1.0%
Fósforo total (%)	0.61	0.59	Superior a 0.4%
Potasio total (%)	6.56	6.18	Superior a 0.6%
Sodio total (%)	0.74	0.54	-
Calcio total (%)	3.01	2.96	4%
Magnesio total (%)	1.16	0.95	0.3%

Las otras mezclas presentan similar comportamiento, no evidenciando diferencias notables por el aporte de uno u otro líquido.

En las mezclas con distinto porcentaje de estiércol vacuno se obtiene mayor remoción de materia orgánica para mayor porcentaje de estiércol agregado, que se supone debido a la mayor eficiencia de remoción de S.V. del residuo agregado.

Las distintas mezclas de residuos manejadas de igual forma procedieron en forma similar al polvo de tabaco puro durante el compostaje (primer experiencia). Todas las mezclas alcanzaron la fase termófila entre las 12 y 24 horas, después de iniciado el proceso. También se observó que casi todas las mezclas alcanzaron temperaturas del orden de los 50 °C. Las temperaturas máximas y mínimas promedio ambientales para dicho periodo fueron de 23.8°C y de 12.3°C, respectivamente.

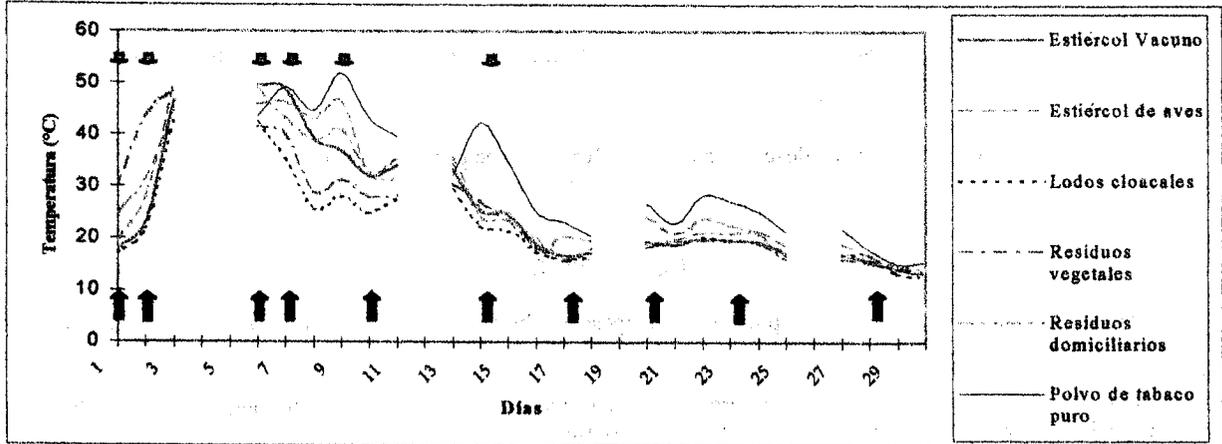


Figura 2: Evolución de temperatura de las mezclas de distintos residuos con polvo de tabaco.

Se desarrolló una segunda experiencia de laboratorio bajo cubierta plástica en época invernal, con el interés de evaluar el manejo durante el tratamiento. Las mezclas tuvieron similar comportamiento al descrito para la primer experiencia, aunque las temperaturas alcanzadas fueron notablemente menores. Las temperaturas máximas y mínimas promedio en el interior del invernadero para el periodo de evaluación fueron de 27.8 y 7°C.

En la Figura 3 se observa la comparación de ambas experiencias para el polvo de tabaco sin aporte de otros residuos. Se observa que el de manejo durante la primer etapa de degradación influye negativamente inhibiendo la fase termófila, lográndose una remoción de materia orgánica del 19.5% en 20 días para la primer experiencia y de 17.4% en 40 días para la segunda experiencia. Las características del producto final para igual remoción de materia orgánica son similares.

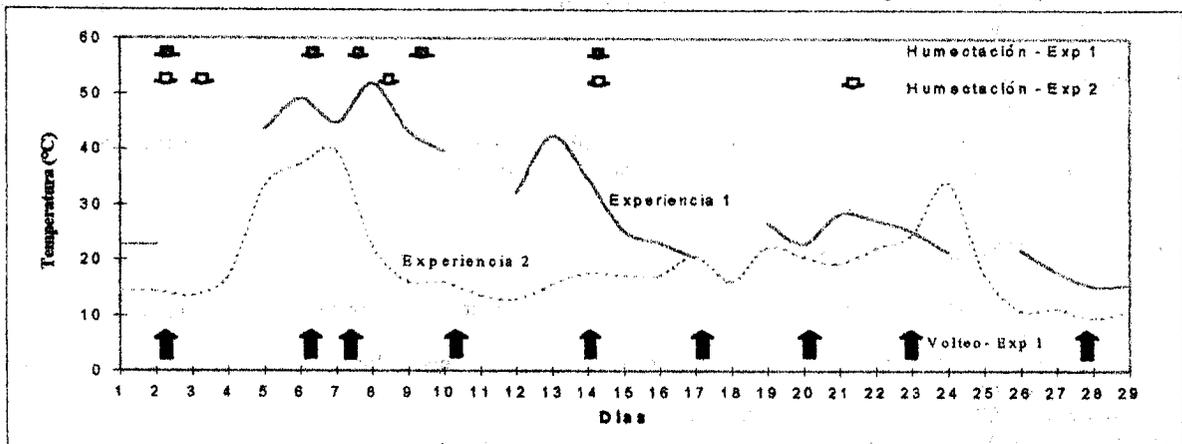


Figura 3: Comparación de las experiencias de laboratorio.

Los residuos tratados sufrieron una significativa reducción de volumen, alcanzando una reducción media del 50 % en el periodo de tiempo considerado. Este parámetro resulta interesante en el manejo del polvo de tabaco a gran escala, ya que asegura una disminución de los costos de movilización a medida que avanza la degradación.

El pH de las masas de residuos variaron ligeramente entre 8 y 9,6 durante el proceso de compostaje. El valor final de este parámetro es importante para un proceso posterior de lombricultura (valor recomendado entre 7 y 8) (Ferruzzi, 1987).

En escala piloto (Figura 4), se observan reactivaciones del proceso (elevación de temperatura los días 16 y 29), generalmente después del movimiento de pila debido a que la fase termófila se desarrolla en forma localizada.

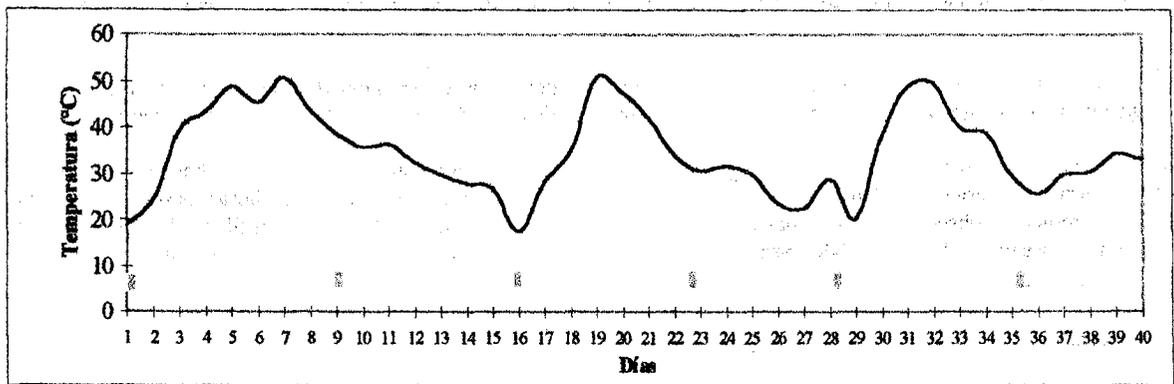


Figura 4: Evolución de temperatura del polvo de tabaco puro en la escala piloto.
 ▸ Humectación y volteo

CONCLUSIONES

El polvo de tabaco es degradado mediante el proceso de compostaje, obteniéndose un producto estable y saneado para ser utilizado en agricultura.

Al realizar movimientos de pilas durante los primeros días, la fase termófila se ve inhibida dando lugar a un producto con problemas sanitarios, no siendo esto una restricción para una posterior lombricultura.

La incorporación de la biomasa proveniente del agua residual es aconsejable durante la fase inicial del proceso de compostaje, para asegurar su degradación y eliminación de agentes patógenos. Asimismo se promueve la reutilización de un efluente ahorrando el recurso agua.

Los residuos utilizados en las mezclas ensayadas, evidenciaron la factibilidad de su uso para la producción de abonos, ampliando el espectro de procesamiento de los residuos en planta de tratamiento.

Si bien, el polvo de tabaco se degrada sin necesidad de incorporación de otro residuo, el estudio de las distintas mezclas permite considerar el abastecimiento de otros residuos para el caso en que la empresa desee ampliar su capacidad operativa.

El pH final del producto puede significar una limitación para lombricultura; no obstante, controlando el compostaje puede lograrse un pH adecuado para su desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de la Gerencia de Massalin Particulares S.A., Sr. Eduardo Giménez y Dr. José O. Adamo de Massalin Particulares S.A., Ing. Eduardo Corvalán de I.N.T.A. delegación Cerrillos - Salta.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1- APHA (1985). American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16th edition Washington.
- 2- Aulo Magagni, Luigi Spolaore. The production of "Good - Quality" compost. International Symposium on anaerobic digestion of solid Waste. 14-17 Abril 1992.
- 3- Ferruzzi, Carlo (1987), Manual de Lombricultura. Ediciones Mundi Prensa.
- 4- González Carcedo, Salvador, Tratamiento y utilización de lodos de depuradora, 1996.
- 5- Meatcalf & Eddy, Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse. 3de. New York. Mcgraw Hill, 1991.
- 6- Orden del 14 de Julio de 1988, de Lorea; referente al control de productos fertilizantes y afines (B.O.E. de numero 191 del 10 de Agosto de 1988).
- 7- Ulivarri, Dario Fernández de, El cultivo de tabacos claros, 1990.

DEGRADACIÓN SOLAR DE AGUA CONTAMINADA CON 1,1,1,2-TETRACLOROETANO USANDO TiO_2 EN SUSPENSION, MEDIANTE UN FOTOREACTOR DE PLACA PLANAROQUE RIGGIO, HECTOR E. MARTINEZ, JOSE F. ESPINOZA, ANGELICA BOUCIGUEZ
INENCO - UNSa - CONICET

Bs. As. 177, 4400 Salta - Tel. 54-87-255423/424 - FAX 54-87-255489/311611-E-mail riggio@unsa.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se muestra como degradar el 1,1,1,2-tetracloroetano utilizando como catalizador TiO_2 , el cual fué activado por medio de radiación solar en la banda UV (principalmente en $\lambda = 360$ nm). Para ello se utilizó un reactor plano rectangular de fibra de vidrio, por el que se hizo circular agua, con dióxido de titanio en suspensión, contaminada con el derivado clorado a degradar. Se tomaron sucesivas muestras a lo largo del tiempo total de la experiencia (540 minutos), a intervalos de 90 minutos, analizándose la concentración del contaminante en cada una de ellas por medio de un cromatografo de gas, para obtener la variación de concentración a través del tiempo.

INTRODUCCION

La presencia de derivados órganoclorados en agua para consumo, provenientes en su mayoría del uso indiscriminado de solventes clorados, afecta la salud, por lo que el estudio del proceso de su degradación es de suma importancia (Pruden, A. and Ollins, D. 1983). En este trabajo se estudia la degradación por métodos fotoquímicos del 1,1,1,2-tetracloroetano utilizando la combinación UV - TiO_2 , para llevarlo hasta ión cloruro y dióxido de carbono.

Existen en la literatura trabajos relativos a la degradación de contaminantes a escala de laboratorio con luz UV artificial (Klausner, J. *et al.* 1994), pero son escasos los relacionados con el aprovechamiento de la radiación UV proveniente del sol (Wyness, P. *et al.* 1994). Dentro del espectro correspondiente al UV, la longitud de onda de 360 nm (que representa aproximadamente el 2% de la radiación solar total) es la que activa el catalizador con lo que se produce la degradación del contaminante. La fotodegradación de contaminantes clorados y en general los procesos fotoquímicos catalizados por medio de semiconductores, presentan un interés potencial en la descontaminación de agua.

El objeto de este trabajo es el de investigar la degradación de un componente clorado, en una dispersión acuosa de un semiconductor bajo el efecto de la luz solar. En las secciones que siguen se describe el dispositivo experimental utilizado, la experiencia en sí, los resultados obtenidos y se presenta un análisis crítico de los mismos.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental, construido especialmente, se muestra en la figura 1 y consta de tres partes: un depósito de material plástico con una capacidad de unos 100 litros, un sistema de bombeo constituido por una bomba con capacidad de 3000 litros/hora y un fotoreactor donde se produce la reacción catalítica. Este consiste en una placa plana de fibra de vidrio que contiene una lámina de vidrio, soportada sobre tergopol, sobre la que se desliza la suspensión líquida. Las cañerías de alimentación, circulación y desagote son de PVC. El mismo se encuentra ubicado en la terraza del edificio de la UNSa., donde también se mide la radiación solar sobre superficie total y UV- (Muradov, N. 1994).

El caudal de entrada a la placa es controlado por medio de una válvula aguja, cuyo objetivo es lograr sobre ella, un flujo laminar conveniente para conseguir un tiempo de residencia adecuado de la suspensión. Antes de la válvula hay un by-pass que obliga a que la solución recircule al depósito en forma turbulenta para mantener el catalizador en suspensión.

El área efectiva de la placa es de 1.8 m² y tiene en su base dos tornillos sinfin, que permiten nivelarla y dar una pendiente óptima de escurrimiento de la suspensión y un adecuado espesor del film (10° y 0.8 mm respectivamente). La parte inferior de la placa tiene un colector que desagota en un depósito de material plástico, donde se encuentra la suspensión de agua, catalizador y contaminante que recircula por la placa (Pelizzetti, E. and Schiavello, M. 1991).

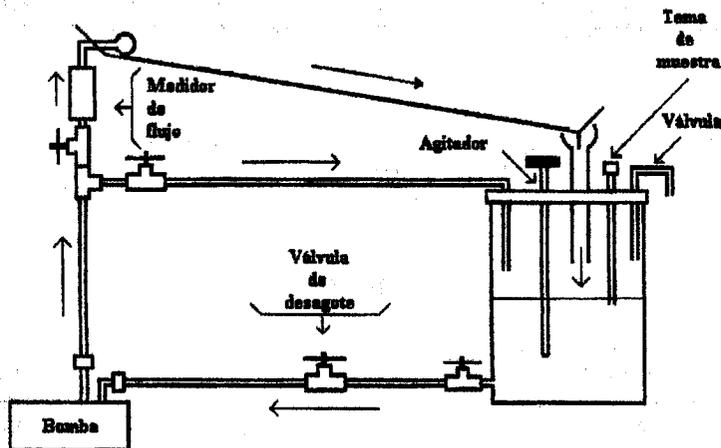


Fig. 1: Esquema del dispositivo experimental utilizado.

LA EXPERIENCIA EN SI

Se parte de una muestra comercial de 1,1,1,2-tetracloroetano, la que fue disuelta en n-hexano y a la solución obtenida se le añade el catalizador en cantidad tal que en el depósito esté el contaminante en aproximadamente 0.5 g/L y el catalizador en 0.2 g/L. Una vez puesta en marcha la bomba, se añade al depósito la suspensión obtenida del contaminante y catalizador, acidificándose la misma hasta un pH = 5. Como catalizador se utiliza dióxido de titanio (variedad anatasa) "Alfa Aesar - Johnson Matthey-USA", de área superficial determinada por BET=15 m²/g. Tomada la primera muestra se observa que el derivado clorado está en una proporción de 0.487 g/L que corresponde a una concentración de 2.9 mmol/L.

La experiencia se lleva a cabo en un día completamente despejado entre las 9 y las 18 hs., durante ese tiempo se mide la intensidad de energía solar especialmente en la banda de $\lambda = 360$ nm, utilizando un espectro radiómetro portátil Li - Cor -1800, registrándose en promedio un valor de $1.9 \cdot 10^3$ W/m² nm. Cada 90 minutos se toman muestras que luego son centrifugadas para separar el dióxido de titanio del líquido sobrenadante extrayendo del líquido residual el contaminante con n-hexano.

Para analizar las muestras se utiliza un cromatógrafo de gas marca Hewlett - Packard 5890 - serie II, equipado con un detector de captura electrónica y con una columna HP1 (d = 0.32 mm, l = 30 m, e = 0.25 μ m). Las condiciones experimentales son: temperatura del horno 200 °C, temperatura del inyector 240 °C, temperatura del detector 300 °C. El gas carrier es hidrógeno (30 mL/min) y se utiliza nitrógeno como gas auxiliar. Los datos se obtienen por medio de un integrador HP 3395.

RESULTADOS OBTENIDOS

Este tipo de reacciones sigue una cinética de primer orden que se expresa según la ecuación:

$$v = - \frac{d[A]}{dt} = k [A]$$

siendo:

- v = velocidad de degradación del contaminante en milimoles/litro-minutos
- [A] = concentración del contaminante en milimoles/litro
- k = constante específica en minutos⁻¹

En la figura 2 se presentan los resultados del análisis de las distintas muestras, donde puede verse la degradación del contaminante a lo largo del tiempo.

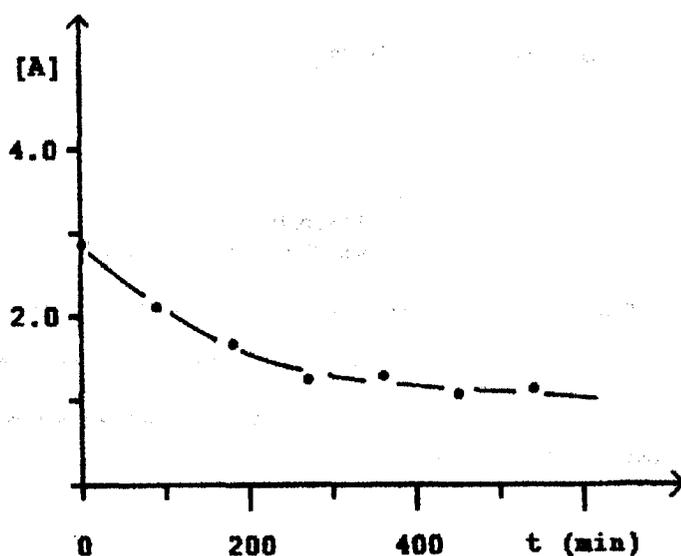


Figura 2: Concentración del contaminante a lo largo del tiempo.

La gráfica se ajusta por medio de una regresión de orden cuatro y con los valores obtenidos se calcula la constante de velocidad específica según:

$$k = \frac{2,303}{t} \log \frac{[A]_0}{[A]_f}$$

siendo:

$[A]_0$ = concentración inicial del contaminante en milimoles/litro
 $[A]_f$ = concentración final del contaminante en milimoles/litro
 t = tiempo transcurrido en minutos

Para este caso la constante de velocidad específica arroja un valor de $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}$.

El tiempo de semidescomposición de la muestra se calcula mediante:

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{k}$$

resultando ser de 406,3 min.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El 1,1,1,2-tetracloroetano, isómero asimétrico del 1,1,2,2-tetracloroetano, es líquido a temperatura ambiente, estable y no corrosivo, pero muy tóxico, por lo cual, por encima de su tolerancia, puede provocar polineuritis e insuficiencias hepáticas crónicas. De acuerdo a los resultados obtenidos se observa, que mediante la fotocatalisis con TiO_2 es posible degradar dicho contaminante, desde una concentración de 2,97 mmol/litro hasta una concentración de 0,97 mmol/litro, en el lapso de 630 minutos, o sea disminuirla en 2/3 del valor inicial.

De todo lo expuesto, puede verse que mediante este proceso, es posible degradar el contaminante en forma sencilla en un tiempo

relativamente corto, por lo que resulta de interés su estudio y aplicación.

Los próximos pasos del proyecto consistirán en usar otros contaminantes clorados y comparar los resultados obtenidos, utilizar TiO_2 de mayor área específica, para aumentar su eficiencia catalítica, recubrir la placa de vidrio con un material poroso a fin de provocar el depósito del catalizador en el mismo (lecho fijo) y buscar de aumentar así la eficiencia del reactor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al INENCO - CONICET - UNSa, por la financiación recibida.

REFERENCIAS

- Klausner, J. *et al.* (1994) On the Accurate Determination of Reaction Rate Constants in Batch - Type Solar Photocatalytic Oxidation Facilities. *Journal of Solar Energy Engineering*. Vol. 116 pp. 19 - 24.
- Muradov, N. (1994) Solar Detoxification of Nitroglycerine Contaminated Water Using Immobilized Titania. *Solar Energy*. Vol. 52 pp.283 - 288.
- Pelizzetti, E. and Schiavello, M. (1991) Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy. *Kluwer Academic Publishers*. pp. 593 - 622.
- Pruden, A. and Ollis, D. (1983) Photoassisted Heterogeneous Catalysis. The Degradation of Trichloroethylene in Water. *Journal Catalaloge*. pp. 82 - 404
- Wyness, P. *et al.* (1994) Performance of Nonconcentrating Solar Photocatalytic Oxidation Reactors, Part I: Flat Plate Configuration. *Journal of Solar Energy Engineering*. Vol. 116 pp. 2 - 8.

COMPLEJO ESCOLAR CON AUTOGENERACION ENERGETICA EN BASE A ENERGIA SOLAR Y BIODIGESTION – ETAPA II BIOGAS

René O. Galiano (1), Norma M. Killer (3), Ricardo Gómez (4)
Empresa Provincial de la Energía
San Martín 2365 – 5° Piso Galería Garay – 3.000 Santa Fe – Tel: 042 505795 – Fax: 042 505835
E.Mail: regasol@infovia.com.ar

Eduardo Gropelli (2)
Grupo de Energías No Convencionales (FIQ) – Universidad Nacional del Litoral
Santiago del Estero 2654 – 3.000 Santa Fe – Tel/Fax: 042 556314

INTRODUCCION

El Hogar Escuela 952, ubicado en la Estancia El Lucero (Dpto. San Cristóbal) es un complejo educacional que cuenta, además del edificio escolar propiamente dicho, con un museo local, 2 dormitorios destinados al albergue de los alumnos, viviendas de 9 docentes y de personal no docente, distribuidos en un total de 3 has. El establecimiento suma casi un total de 80 habitantes permanentes, que llegan a 125 con los alumnos externos en jornada completa.

La pequeña comunidad cuenta con diversas actividades, algunas de ellas de importancia económica a saber: tambo, aves de corral, cría de cerdos, huerta y forestación. Todo el producido se usa para la alimentación de la comunidad.

También se destaca el dictado de cursos de computación con equipos propios, extendido en horario nocturno a mayores de la comunidad y aledaños. Además se compagina, mediante fotocopiadora propia, una gacetilla de recortes periodísticos que se distribuye en la zona. Esta función se extiende a la radial, pues poseen una emisora FM para propalar programas educativos y generales realizados por los alumnos del establecimiento en algunas horas de la semana.

La comunicación social se completa con un teléfono semipúblico DDI abastecido con un equipo solar individual.

SERVICIO DISPONIBLE: PRIMERA ETAPA - ELECTRIFICACION FOTOVOLTAICA

Toda la energía eléctrica que consume este pequeño conglomerado de habitantes, está cubierta desde hace tres años, por una central fotovoltaica compuesta por un equipo de 120 paneles que entregan una potencia máxima de 5,5 KW (el más grande de Sud América con fines educacionales). Si bien la corriente generada es en 24 V, el servicio se entrega en forma permanente en 220 VCA por medio de 2 "inversores", alimentados desde un banco de baterías de 3.600 Ah

PROYECTO: SEGUNDA ETAPA – BIODIGESTION

CARACTERISTICAS DE LA BIODIGESTION

La digestión anaeróbica es un proceso biológico realizado por bacterias, que existen en la naturaleza desde unos 3.500 millones de años atrás, cuando la atmósfera exenta de oxígeno, estaba compuesta por nitrógeno, dióxido de carbono, argón y vapor de agua.

Este interesante proceso de descomposición de la materia orgánica compleja (celulosa, carbohidratos, almidón, proteínas, etc.) produce biogas combustible con 60 % de metano y aproximadamente el 40 % de dióxido de carbono.

En el medio rural habitualmente se producen acumulaciones de residuos orgánicos, como consecuencia de la crianza de animales con métodos intensivos (estiércoles), y/o desechos orgánicos domiciliarios (residuos de cocina)

Si la materia orgánica se estabiliza con un tratamiento previo, como el que se puede realizar con el biodigestor, podrá disponerse sobre el suelo en una proporción mucho mayor que la materia orgánica fresca pues, como está estabilizada no se producirán reacciones de acidificación en el suelo. Además, dentro del biodigestor se genera un gas combustible compuesto por sustancias elementales como carbono, hidrógeno, oxígeno y trazas de azufre; habiéndose transformado lo existente en la materia orgánica fresca, en sustancias más simples, directamente asimilables por los vegetales, conteniendo éstas elementos tales como Nitrógeno, Fósforo y Potasio esenciales para el desarrollo equilibrado de las plantas.

FUENTE DE ENERGIA RENOVABLE CON CULTIVOS ENERGETICOS

El autoabastecimiento energético de comunidades rurales aisladas es factible, ya que puede lograrse complementando el uso de los residuos orgánicos disponibles con la biomasa necesaria, generada mediante un cultivo destinado a ese fin.

El sorgo granífero se presenta como el cereal adecuado para generar la biomasa necesaria, que mediante digestión anaeróbica pueda transformarse en la cantidad de combustible gaseoso que satisfaga las necesidades básicas de una comunidad. Su bajo costo y la certeza de su buen rendimiento en la zona, lo ubica como un recurso renovable que puede ser destinado a la generación de la mencionada fuente alternativa de energía.

ETAPAS DE LA DIGESTION ANAEROBICA

La degradación de la materia orgánica se inicia con una "etapa fermentativa", donde un amplio grupo de microorganismos facultativos, principalmente bacterias celulolíticas, actúa sobre los polímeros orgánicos desdoblándolos enzimáticamente en los correspondientes monómeros o fragmentos más sencillos. Éstos experimentan a continuación procesos de fermentación ácida que originan diferentes intermediarios, principalmente acetatos, propionatos y butiratos, y en menor proporción dióxido de carbono e hidrógeno.

También actúan bacterias "acetogénicas" productoras de hidrógeno, las cuales a partir de ácido propiónico y otros ácidos de cadena más larga, producen acético, dióxido de carbono e hidrógeno.

Finalmente un grupo de bacterias "metanogénicas", estrictamente anaeróbicas, actúan sobre los productos resultantes de las etapas anteriores y los transforma en metano. Se estima que aproximadamente el 70 % del metano producido procede de la descarboxilación del ácido acético.

La generación final de metano se debe a una asociación sintrófica de las bacterias productoras de hidrógeno de la etapa acidogénica con las consumidoras de hidrógeno de las metanogénicas.

TIPO DE BIODIGESTOR ADOPTADO

Para el presente emprendimiento conviene utilizar un biodigestor tipo "Hindú" por su versatilidad, durabilidad y posibilidad de almacenar una buena cantidad de biogas generado, a presión constante, durante todo el día y ser consumido en momentos claves (cocción de alimentos, etc.).

Con la construcción del cuerpo del biodigestor y gasómetro en P.R.F.V., se aporta una alternativa prefabricada, con materiales durables y livianos (vida útil de 20 años) y se elimina toda posibilidad de pérdidas de líquido y biogas.

Las partes que componen el biodigestor son las siguientes:

Cámara de carga:

Esta cámara tiene distintas formas y tamaños de acuerdo al diseño del digestor y materiales de construcción empleados; en la misma se introduce el material a fermentar, se lo mezcla en las proporciones adecuadas con agua y se lo homogeneiza. Una vez cumplidos estos pasos el material puede ingresar al biodigestor. Puede utilizarse agua tibia en la mezcla para evitar la introducción de material frío en la biomasa.

Conducto de Carga:

Este conducto conecta la cámara de carga con la cámara de digestión. Por el mismo circula el material ya preparado por acción de la gravedad o por medio de bombas.

Cámara de Digestión:

En esta cámara el material permanece un determinado período de tiempo en el cual ocurre la degradación (entre 25°C a 36°C) y liberación del biogas. Suele estar provista de implementos que impiden la formación de costras en la parte superior y faciliten el desprendimiento del gas, produciendo una remoción y homogeneización de la biomasa.

Gasómetro:

Tiene por objeto actuar como pulmón en el almacenamiento de biogas en los momentos donde no existe consumo de gas, dado que la fermentación es un proceso continuo durante todo el día. Puede estar incorporado a la cámara de digestión, flotando en su superficie y a la vez haciendo el cierre superior del equipo ó separado de aquel. Pueden construirse en chapa de hierro, plástico reforzado con fibra de vidrio (P.R.F.V.), éste último es más recomendable porque no es atacado como el hierro.

Conducto de descarga:

Permite la extracción del material digerido desde la cámara de digestión, el residuo estabilizado puede ser movido por bombeo o por el principio de vasos comunicantes.

Cámara de descarga:

Sirve para acumular el material digerido. Se dimensiona en función de la periodicidad con que se desee distribuir este fertilizante orgánico sobre los suelos de cultivo.

Purificación del Biogas:

Como consecuencia de la digestión anaeróbica, el azufre contenido en la carga se transforma en ácido sulfhídrico que contamina el biogas. Este le confiere olor al biogas, que para usos de combustión es beneficioso, porque permite detectar posibles pérdidas, pero si se quiere utilizar este biogas en motores de combustión interna, puede provocar corrosión en él, por lo tanto es recomendable su eliminación.

Puede realizarse económicamente haciendo circular el biogas, previo al consumo, por una columna conteniendo virutas de hierro oxidadas, que permite por reacción química retener el ácido sulfhídrico contenido en el biogas.

Retención de agua:

Como la fermentación se produce en un medio acuoso, el biogas está saturado de humedad. Si la temperatura desciende durante el trayecto hacia el consumo, el agua condensará. Por lo tanto se debe diseñar la cañería de gas con pendiente y eliminar el agua condensada en un colector que deberá funcionar en forma automática y se coloca en la parte más baja de la cañería.

Trampa de llama:

Si existiese dentro del gasómetro metano y suficiente aire (por accidente) podría retroceder la llama desde el quemador y provocar una explosión. Para prevenir accidentes de este tipo se interpone una trampa de llama que funciona por el principio de pared fría e impide el retroceso.

DISEÑO DEL EQUIPO

• Consumo de gas envasado (tubos y garrafas)	200 Kg./mes
• Residuos disponibles:	
– Basura orgánica clasificada (comedor escolar)	25 Kg./día
– Estiércol de vaca	50 Kg./día
– Estiércol de cerdo	5 Kg./día
– Estiércol de gallina	2 Kg./día
• Generación de Biogas:	
– Basura orgánica clasificada (comedor escolar)	
– Estiércol de vaca	
– Estiércol de cerdo	
– Estiércol de gallina	

TOTAL 3,73 m³ / día

Esto es equivalente a 1,86 Kg de gas envasado / día. Si se toman 20 días de clase al mes, se tendría que generar **10 Kg de gas envasado día.**

El gas faltante, 8,14 Kg de gas envasado / día, se puede generar a partir de sorgo molido, trabajando a una temperatura mínima de 20 °C. Si prescindieramos de los residuos se necesitaría una cifra cercana a los 40 Kg de sorgo molido/día.

El volumen diario a manejar de residuos más sorgo molido será de aproximadamente 160 lts. Se debe agregar a éste, un volumen de agua de 130 lts. Para lograr finalmente un volumen aproximado de mezcla de 250 lts.

Mensualmente, se necesitarán algo más de 900 Kg de cereal. Tomando 10 meses de funcionamiento se consumirán anualmente, más de 9.000 Kg de sorgo. Esto podrá conseguirse con una plantación del mismo de aproximadamente 3-4 Has.

DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

Teniendo en cuenta que el consumo de gas se tiene en horarios bien acotados durante el día (desayuno, almuerzo, merienda y cena) el gasómetro del biodigestor debe tener la suficiente capacidad de almacenaje para acumular la producción continua del biogas.

En consecuencia para este caso, es la capacidad mínima necesaria del gasómetro el que define el diseño.

Tomando el consumo necesario futuro de 10 Kg de Propano Butano/Día, la cantidad equivalente en Biogas es del orden de 20 m³/Día.

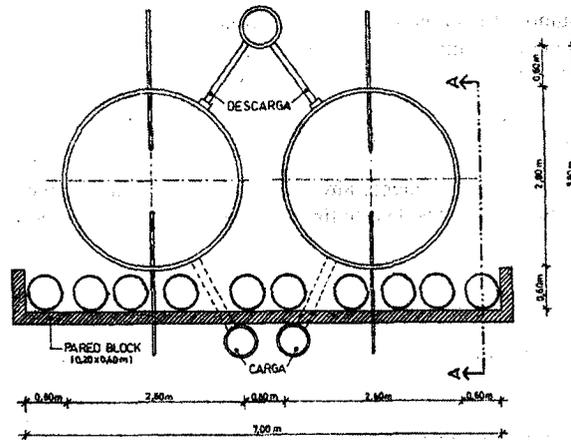
Se toma como criterio de seguridad almacenar el volumen de un día, por lo tanto el volumen total mínimo del gasómetro será de 20 m^3 .

El volumen mínimo del Biodigestor, considerando el diseño de la entrada, los agitadores, etc., debe ser de 30 m^3 .

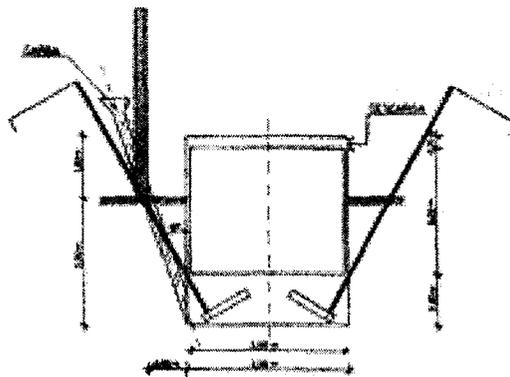
Por razones constructivas, facilidad de transporte, y montaje en zona rural, conviene lograr el volumen de biodigestor y gasómetro con dos módulos iguales.

Con el objeto de mantener la temperatura lo más estable y elevada posible durante los meses de invierno, conviene colocar todo el conjunto debajo de un invernadero, para lograr por este efecto un aprovechamiento de tipo pasivo de la energía solar, que contribuya al fin propuesto.

ESQUEMA GRAFICO



PLANTA GENERAL



CORTE A-A

- (1) Ing. Jefe de Energías No Convencionales y Medio Ambiente. Coordinador Técnico
- (2) Ing. Director del Grupo de Energías No Convencionales (FIQ). Proyectista
- (3) Analista de información energética. Proyectista
- (4) Diagramación Técnica.

REFERENCIAS

- Actas del International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste (14-17 Abril, 1992), Venecia, Italia.
- Carozi A., Steinle E. "Tratamiento Anaeróbico de Lodos de Plantas Municipales" — Actas del III Seminario – Taller Latinoamericano de "Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales" (25-28 Octubre, 1994), Montevideo, Uruguay
- Actas del IV Seminario Taller Latinoamericano de Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales (12-22 Noviembre, 1996), Bucaramanga, Colombia.
- Grupo de Energías No Convencionales – FIQ "Digestión Anaeróbica de residuos sólidos domiciliarios – Experiencias a escala laboratorio y piloto."

BIODIGESTOR EXPERIMENTAL CALEFACCIONADO

Juan F. Aguirre, H.P. Gross, J.M. Ortiz, S. Holm, J. Bustos, C. Kubar, G. Barrios, E. Balkevicius, G. Cid, D. Ipata, J. Tellería, J. Marengo, A. De Lucia, D. González

INSTITUTO SUPERIOR DE FORMACIÓN TÉCNICA N° 188

Pueyrredón 715

(1748) General Rodríguez, Buenos Aires.

Tel: 037-850707

E-mail: isft188@netdata.com.ar.

RESUMEN

El gran costo que genera la dependencia energética de los combustibles tradicionales para el pequeño productor, hace la diferencia entre que su campo sea rentable o no. Dichos problemas derivaron en consultas sobre diferentes alternativas para racionalizar el aprovechamiento y mejoramiento del funcionamiento en las distintas áreas de la actividad rural. Basándonos en estas consultas se llegó a la conclusión que el Biogas podría ser una alternativa rentable, lo cual llevó a la construcción de un biodigestor experimental que a través de la evaluación de las condiciones reales en que se desenvuelve el proceso, logre una metodología de cálculo para ser utilizada en el diseño de biodigestores para uso rural.

Este trabajo expone las experiencias obtenidas en el funcionamiento del biodigestor durante un periodo de dos años.

INTRODUCCION

La zona de General Rodríguez (Pcia. de Bs. As.) y sus alrededores cuenta con una gran cantidad de tambos de pequeño mediano y gran tamaño, destinados a la producción lechera por la influencia de la firma comercial La Serenisima. Muchos de los tambos de pequeño porte, se encuentran alejados de las rutas asfaltadas y de las redes eléctricas. Para la refrigeración de sus alimentos y cocinado de los mismos emplean gas en garrafa o leña. Para refrigerar la leche utilizan gas envasado y en ciertas oportunidades cuando llueve mucho se llega a la imposibilidad de acceder a estos combustibles; esto ocasiona molestias y gastos. Algunos de estos productores se acercaron al Instituto para realizar consultas, la mayoría de estas estuvieron enfocadas en la posibilidad de encontrar un combustible alternativo que elimine el uso de la leña y el gas.

En la búsqueda de mejorar la rentabilidad de estos pequeños productores se construyó un biodigestor experimental que pueda aprovechar el estiércol que queda en las pistas de ordeño, con la finalidad de obtener biogas ya que dentro de las diferentes propuestas realizadas fue la que presentó mejores perspectivas.

DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

Ensayo a escala de laboratorio: El primer paso del desarrollo de la experiencia consistió en armar cinco biodigestores de laboratorio con el objeto de comprobar los datos encontrados en diferentes bibliografías. Esta etapa del proyecto se llevó a cabo en un año. Durante la misma se realizaron ensayos a diferentes temperaturas de funcionamiento, con estiércoles de distintos animales (sin mezclas). Entre otras se dejó una muestra trabajando a temperaturas constantes de 30 °C y otra a 45 °C, sometida a una reducción del orden de los 20 °C una vez cada cinco días, por el término de ocho horas, para luego restablecer la temperatura original. Estas experiencias dieron como resultado lo siguiente: existe una gran diferencia de producción entre los estiércoles aunque sean del mismo tipo de animal. La producción de gas, siempre fue superior cuando estos se alimentan con comidas naturales, y el mejor resultado lo dio el estiércol vacuno.

Los datos para las distintas temperaturas de funcionamiento nos llevó a la siguiente conclusión: debimos calentar la mezcla dado que para la zona bioambiental donde se realizaron los ensayos la temperatura media anual es muy baja, tornándose los tiempos de retención muy largo y la producción de gas muy pobre.

Ensayo a escala piloto: Basándonos en las experiencias de laboratorio se construyó un biodigestor compuesto por una cámara de digestión de un metro cúbico con una superficie de seis metro cuadrado, aislado en todo perímetro por veinte centímetros de poliestireno expandido, el sistema de calefacción es un colector solar plano (0,682 -5,123 Ψ)

de 1.9 m² de área neta, con un intercambiador de calor, dentro del biodigestor, operando en forma discontinua, la agitación se realiza por medio de un compresor que hace burbujear dentro del mismo digestor.

En la práctica existen tres temperaturas típicas de trabajo donde mejor se desarrollan las bacterias 10-20 °C Psicofilicas, 30-40°C Mesofilicas, 40-55°C Termofilicas, pero también aumentan las complicaciones técnicas para impedir las mínimas variaciones de temperatura, que son más críticas. La temperatura donde encontramos la mejor relación temperatura/gas fue la cercana a los 30°C, manteniéndose los límites entre los 28 a 36°C. Es importante destacar que si la materia orgánica se mantenía dentro del rango de temperatura ya mencionado, el gas generado respetaba una curva de producción aun cuando las diferencias de temperatura eran del orden de cinco grados diarios. Cuando la temperatura llegaba a valores inferiores a los ante mencionados (28-36 °C) aunque sea por poco tiempo (8 horas), aún cuando lograba restablecer la temperatura óptima, tardaba hasta 72 horas en volver a la curva original de producción de gas. (gráfico 1)

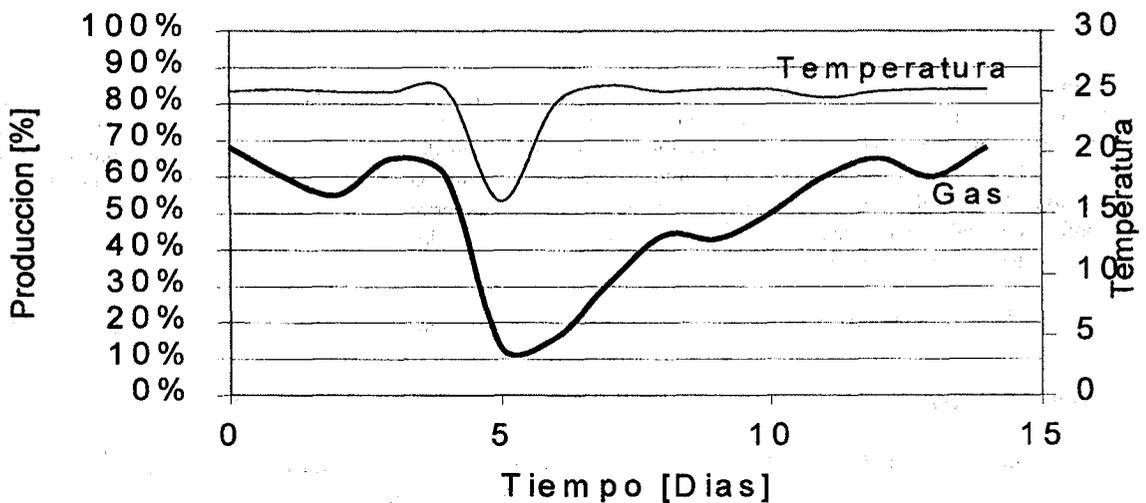


Gráfico 1 CAIDA DE TEMPERATURA debida a falla en el sistema calefactor, se puede observar en el extracto de la medición, la caída de la producción en función de la temperatura.

A diferencia de las muestras de laboratorio, en el ensayo piloto la gran masividad demora el enfriamiento y el calentamiento, dando una inercia térmica importante.

En una primera etapa el sistema funcionó termosifonicamente, operando satisfactoriamente en los días en que el sol brillaba, pero luego de varios días nublados se tuvieron problemas cuando la temperatura del biodigestor estaba muy cercana al limite inferior; sumándose a esto el inconveniente del enfriamiento nocturno que origina el funcionamiento termosifónico del colector. Prolongando el tiempo de retención en un 30% a un 50%.

En ciertas experiencias fundamentalmente en el periodo estival se llegó a operar a 45°C, pero esto fue en días muy favorables y por periodos muy cortos, por los ya expuesto no dio resultados satisfactorios.

De lo anterior se deduce que las alternativas a seguir serian aumentar el tamaño del digestor o mejorar el suministro de calor, en cantidad y regularidad. La primer alternativa es la más fácil de realizar pero en caso de una caída de temperatura seria mucho mas difícil recuperar el normal funcionamiento del digestor.

Esto llevó a una segunda etapa que consistió en aumentar la superficie del intercambiador y colocarle una bomba de recirculación para mejorar de esta manera el rendimiento global del sistema calefaccionador, a sabiendas que esto significa un aumento en los costos de instalación por la necesidad de incorporar también un sistema fotovoltaico. Al realizar esto, como puede verse en las curvas el biodigestor mejoró mucho su performance, en invierno, pierde cerca de 2°C por día y es capaz de restablecer en días soleados de invierno 1°C más de lo que pierde, lo cual lleva a una autosuficiencia de 4 días.

Una ventaja adicional que presentó el tener una disponibilidad de electricidad fue la de poder incorporarle al biodigestor un sistema de control de temperaturas digital, esto evitó el sobrecalentamiento mejorando el rendimiento del sistema en aproximadamente un 12%. (Gráfico 2)

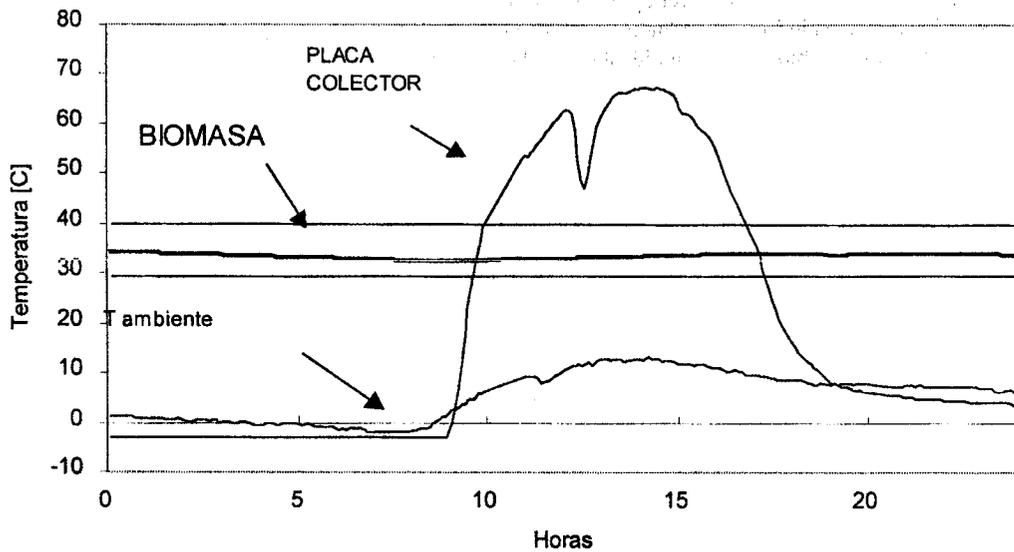


Gráfico 2 Régimen de funcionamiento

CONCLUSION

Se obtuvo **gas metano** con una calidad de **88.359%** (medido a través de un sistema normalizado utilizado por gas del estado), en una relación media de **0.8 m³ gas/día x m³ de digestor** trabajando en invierno, durante un periodo de 50 días. Llegando a picos de producción de **1.3 m³ gas/ día x m³ de digestor**.

La calefacción de los digestores utilizando solo colectores solares puede cubrir el funcionamiento del equipo con condiciones de diseño adecuadas.

La incidencia de las variaciones de temperaturas en los ensayos de laboratorio se manifestaron de forma distinta respecto de digestores de volúmenes considerables.

La incorporación de una bomba en el colector y el sistema de control de temperaturas digital, permitió el aprovechamiento al máximo del mismo, a la vez que solucionó en la mayoría de los casos los problemas de instalación.

Las elecciones de los materiales constitutivos, así como el estudio riguroso del diseño son factores determinantes para el funcionamiento óptimo y prolongado del mismo.

La agitación medida del sistema proporciona una masa homogénea pudiendo reducir en cierta medida el agregado de agua al mismo, con lo cual se hace un mejor aprovechamiento del volumen del digestor sin percibir una disminución en la producción.

La temperatura tiene que ser lo mas estable posible

Es conveniente trabajar con digestores de tamaño mediano (>50 m³) ya que el costo del equipo por m³ de gas disminuye considerablemente, (y aunque el tamaño parezca grande, el costo de fabricación no esta muy alejado de uno de 20m³)

En diversos trabajos se demuestra la viabilidad de la aplicación del biogas para el tratamiento de los residuos orgánicos agropecuarios, saneamiento ambiental, eliminación de malos olores, producción de fertilizantes, y otros factores que nosotros no tenemos en cuenta en el cálculo de la rentabilidad.

El sistema puede tener una rentabilidad económica, con la ventaja adicional de independizar al productor de los cargos fijos que significa tener los sistemas tradicionales de energía, y ayudarlo a dar un paso hacia la aplicación de energías autosustentables y la autosuficiencia de su campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Buswell, A.M.; Mueller, H.F. Mechanism of methane fermentation industrial and engineering chemistry - 1952.
- Biogas-Praxis; Grundlagen Planung Anlagenbau Beispiele
- Eggerslüb, W. Zur Wirtschaftlichkeit der anlage benediktbevern sonnenenergie und wärmepumpe- Heft-1980.
- Maurer, Winkler-biogas C.F.Müller verlag, Karlsruhe 1980.
- Palz, W. Biogasanlagen in Europa verlag tüw-Rheinland, Köln 1985
- Kloss, R. Planung von biogasanlagen oldenburg verlag München/Wien 1986

EVOLUCION DE VARIABLES DURANTE LA PRIMERA PUESTA EN MARCHA DE FILTROS ANAEROBICOS PARA LA DESCONTAMINACION DE LIXIVIADOS

M.S. Alonso, R.C. Pellisco, A.R. Lozano, E.D. Viltz, N.R. Cayo, R.R. Moyano
Facultad de Ingeniería (INTEMI), Universidad Nacional de Jujuy
Avdas. Martiarena e Italia, (4600) San Salvador de Jujuy
Tel. (088)221592, Fax(088)221588, Email: computos@fi.unju.edu.ar

RESUMEN

Se estudió el grado de descontaminación logrado durante la primera puesta en marcha de dos filtros anaeróbicos alimentados con lixiviados extraídos de un relleno sanitario de Jujuy, como así también la evolución del pH, de la alcalinidad y del contenido total de ácidos volátiles en los líquidos de salida de los reactores. Se analizó la influencia de la eliminación parcial previa de metales en el lixiviado alimentado. Los líquidos de salida del estado estacionario final tuvieron una carga orgánica que supera los valores establecidos por las normas sanitarias de Jujuy para el oxígeno consumido del permanganato y para la demanda bioquímica de oxígeno. La eficiencia de descontaminación fue baja, independientemente de la coagulación previa del lixiviado, lo que puede haberse debido a una inoculación insuficiente del material de soporte bacteriano, o a la baja biodegradabilidad de los lixiviados empleados.

INTRODUCCIÓN

Los lixiviados que se acumulan al fondo de los sitios de disposición final de residuos sólidos tienen características físico-químicas que dependen, entre otros factores, de la antigüedad de estos líquidos (Avezzú *et al.*, 1995; Wilkin, 1995; Cal Recovery, 1997). En forma genérica poseen alta carga orgánica y elevada alcalinidad, con un pH no muy alejado de la neutralidad, manifestándose además la presencia de metales pesados (Goransky *et al.*, 1990).

Para evitar una posible contaminación de aguas superficiales o profundas ocasionada por estos residuos líquidos, lo más aconsejable es extraerlos y tratarlos para reducir su carga contaminante (Wilkin, 1995). Teniendo en cuenta que los escasos resultados publicados sobre el tratamiento dado a lixiviados que provienen de ciudades de Argentina y de otros países con condiciones climáticas, y costumbres y niveles socio-económicos de la población diferentes a los del Noroeste argentino (Alonso *et al.*, 1998), resulta necesario estudiar las posibilidades de descontaminación de líquidos de lixiviado provenientes de vertederos de esta región.

La descontaminación biológica de los lixiviados puede hacerse por vía anaeróbica, y en ese caso se debe tener en cuenta la necesidad de un aporte mínimo de ciertos metales y el perjuicio que puede ocasionar el exceso de algunos de ellos (Speece, 1996). Este proceso resulta exitoso sólo si se cumplen condiciones operativas muy estrictas, como trabajar con un medio en donde el pH y la alcalinidad no sean demasiado bajos, y el contenido de ácidos volátiles no supere un cierto límite máximo (Alonso, 1988).

Al recurrir a la digestión anaeróbica metanogénica como proceso de tratamiento de cualquier líquido residual, en este caso los lixiviados, deben evitarse situaciones de desequilibrio de las diferentes bacterias involucradas, lo que puede ocurrir debido a perturbaciones operativas ya sea durante la puesta en marcha de un digestor o encontrándose ya éste en régimen. Esta situación de desequilibrio microbiano se pone en evidencia a través de un aumento de la carga orgánica en los líquidos que salen del reactor metanogénico, por una acumulación de ácidos volátiles, con la posibilidad de una disminución del pH si el medio del reactor no posee una alcalinidad suficiente (Alonso, 1988).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos fueron realizados con dos filtros anaeróbicos, rellenos con esponja poliuretánica previamente inoculada con los lodos del digestor secundario de una planta depuradora de líquidos cloacales. Los reactores, con un volumen total de alrededor de 7 litros cada uno, fueron operados a 30°C con alimentación continua. Los lixiviados utilizados provinieron de un centro de disposición final de residuos domiciliarios de Jujuy. Ambos reactores fueron alimentados con corriente descendente: el reactor 1 (R1) con soluciones basadas en lixiviado crudo, y el reactor 2 (R2) con soluciones preparadas con lixiviado sometido previamente a coagulación, para reducir su contenido de metales.

La puesta en marcha se hizo aumentando la carga orgánica (demanda química de oxígeno o D.Q.O.) de la alimentación en forma escalonada, según se indica en la Tabla 1, correspondiendo la última etapa de la puesta en marcha a una alimentación preparada con lixiviado (crudo o coagulado) sin diluir. En todos los casos el pH se reguló a la neutralidad con ácido fosfórico. La coagulación del lixiviado, para alimentar el reactor 2 fue realizada en un equipo de ensayo de Jarras, empleando sulfato de aluminio al 1% (Goransky *et al.*, 1990).

El seguimiento operativo se realizó extrayendo periódicamente muestras de entrada y salida de los reactores, y analizando en las mismas la demanda química de oxígeno (D.Q.O.), el pH, la alcalinidad y el contenido total de ácidos volátiles según

técnicas normalizadas. Los parámetros que limita la reglamentación sanitaria de Jujuy, a saber oxígeno consumido del permanganato (O.C.) y demanda bioquímica del oxígeno a los 5 días (D.B.O.), fueron determinados sólo al final del ensayo.

Tabla 1. Características de la alimentación durante las etapas de la puesta en marcha. Valores promedio.

ETAPA	D.Q.O. [mg / l]		pH	ALCALINIDAD [mg CaCO ₃ / l]		ÁCIDOS VOLÁTILES [mg HAc eq. / l]	
	R1	R2		R1	R2	R1	R2
1 (días 0 a 8)	600	500	7,8	2400	2200	220	170
2 (días 8 a 20)	1100	900	7,8	4800	4400	430	340
3 (días 20 a 33)	1500	1400	7,8	6700	6300	960	830

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores hallados en las muestras de salida de los reactores para la demanda química de oxígeno, el pH, la alcalinidad y el contenido total de ácidos volátiles, se hallan graficados en las Figuras 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Como puede observarse en estas figuras, la evolución de los reactores fue cualitativamente similar para todas las variables analizadas periódicamente. En efecto, en la Figura 1 se muestra cómo luego de cada cambio de la concentración de la alimentación los filtros respondieron con un aumento progresivo de la demanda química de oxígeno a la salida.

En la Figura 2 se observa que, a través de cada etapa de la puesta en marcha el pH de las muestras de salida de los reactores, luego de un descenso o ascenso progresivos, alcanzó un valor promedio constante (estado estacionario). En ningún momento el pH alcanzó valores por debajo de 6,8 (límite de inestabilidad de un digestor), por lo que no fue necesario aplicar ninguna de las medidas correctivas aconsejables por la bibliografía especializada, tales como agregar un álcali al interior de los reactores, o disminuir o anular el caudal de la alimentación (Alonso, 1992).

En cuanto a la evolución de la alcalinidad de los líquidos de salida: al comienzo de cada etapa de alimentación primero hubo un aumento progresivo hasta llegar hasta un valor aproximadamente constante (estado estacionario). Con cada aumento de carga orgánica en la alimentación hubo un inmediato aumento pronunciado de la alcalinidad. Los aumentos de alcalinidad encontrados tanto para una misma alimentación como al cambiar a la siguiente sólo resultan comprensibles si se tienen en cuenta los valores de la Tabla 1, en donde se observa que al cambiar de una alimentación a la siguiente no solamente hubo un incremento del contenido de materia orgánica, sino que también ocurrió un incremento en la alcalinidad de las entradas. Estos dos cambios simultáneos deberían haber tenido efectos opuestos sobre el valor de la alcalinidad de las salidas, pero prevaleció el efecto ocasionado por el aumento del título alcalimétrico completo, lo que puede verificarse si se compara la alcalinidad de cada entrada y salida respectivas al final de cada una de las etapas de la puesta en marcha. Desde el final de la primera etapa de esta puesta en marcha los reactores alcanzaron el máximo valor de alcalinidad aconsejado (2500 mg de CaCO₃ / l) para una digestión metanogénica exitosa (Nel y Britz, 1986).

La evolución del contenido total de ácidos volátiles fue también cualitativamente similar para los filtros, habiendo alcanzado en general las muestras de salida valores aproximadamente constantes al final de cada etapa de la puesta en marcha, con un incremento en la concentración de los ácidos volátiles ante cada cambio de concentración, y con un aumento progresivo más o menos pronunciado de este parámetro en cada etapa antes de llegar al estado estacionario respectivo. Como se observa en la Tabla 1, ante cada aumento de la carga orgánica de la alimentación también hubo un incremento del contenido de ácidos volátiles en la entrada. Estos cambios simultáneos tuvieron un efecto desfavorable sobre el equilibrio del proceso en los reactores, provocando ambos cambios un aumento en el contenido de los ácidos volátiles de las salidas. La suma de estos efectos puede comprobarse si se comparan los valores de esta variable para los líquidos de entrada y salida respectivos al final de cada etapa, siendo mayor para estos últimos. La concentración de ácidos a la salida del reactor 2 fue menor que la del reactor 1 para cada estado estacionario respectivo, pero (si se comparan los resultados de la Figura 4 con los de la Tabla 1) puede concluirse que esta diferencia se debió simplemente al hecho que las alimentaciones preparadas con el lixiviado previamente coagulado tuvieron valores inferiores a las del reactor 1, alimentado con lixiviado sin coagular, para las etapas respectivas. Sólo excepcionalmente, alrededor del día 27 de la puesta en marcha, los reactores alcanzaron un valor pico de ácidos volátiles que superó ligeramente el valor de 1000 mg de HAc eq / l que la bibliografía establece como límite inferior del intervalo de valor máximo admisible para evitar una situación de inestabilidad (Alonso, 1988).

En todos los casos, el estado estacionario al final de cada etapa se alcanzó dentro de los límites temporales establecidos en los textos de Ingeniería de las Reacciones Químicas, a saber 3 a 5 veces el tiempo de residencia hidráulico, que en este caso fue 1,8 días (Aris, 1973).

Los resultados obtenidos para pH, alcalinidad y ácidos volátiles pueden ser comparados con los de otros autores para lixiviados tratados con filtros anaeróbicos (Henry *et al.*, 1982; Carter *et al.*, 1984), aunque para ello debe tenerse en cuenta diferencias en las condiciones operativas, que incluyen el haber empleado, en este estudio, un lixiviado con biodegradabilidad inferior a la del lixiviado empleado por los autores citados. Los valores de pH son similares a los de estos

Figura 1. Evolución de la carga orgánica en mg / l en las muestras de salida

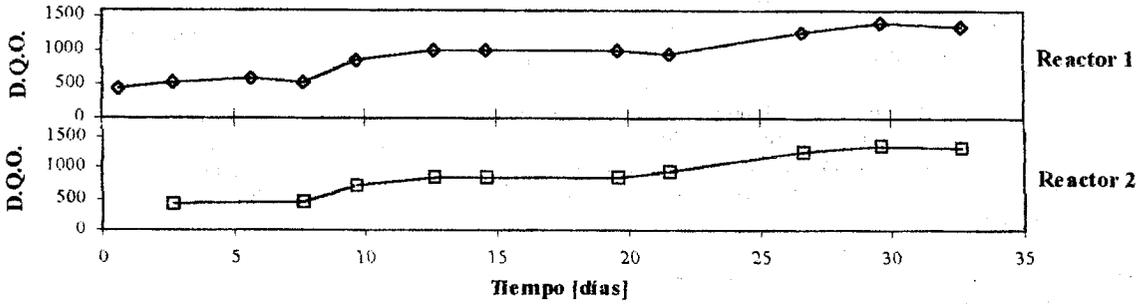


Figura 2. Evolución del pH en las muestras de salida

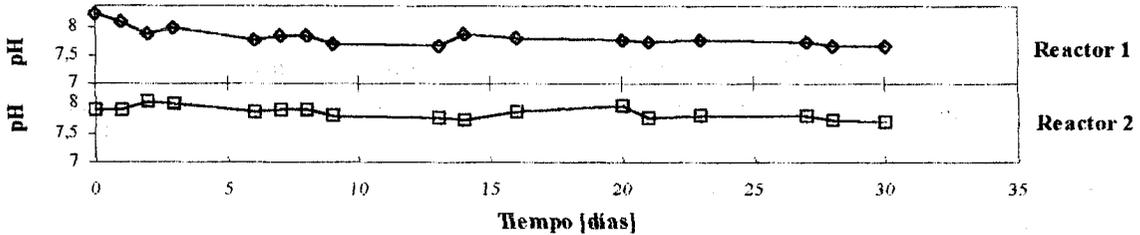


Figura 3. Evolución de la alcalinidad en mg de CaCO3 / l de las muestras de salida

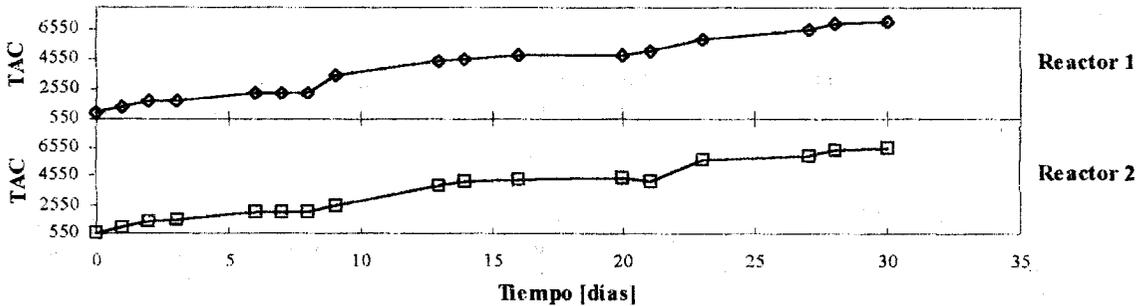
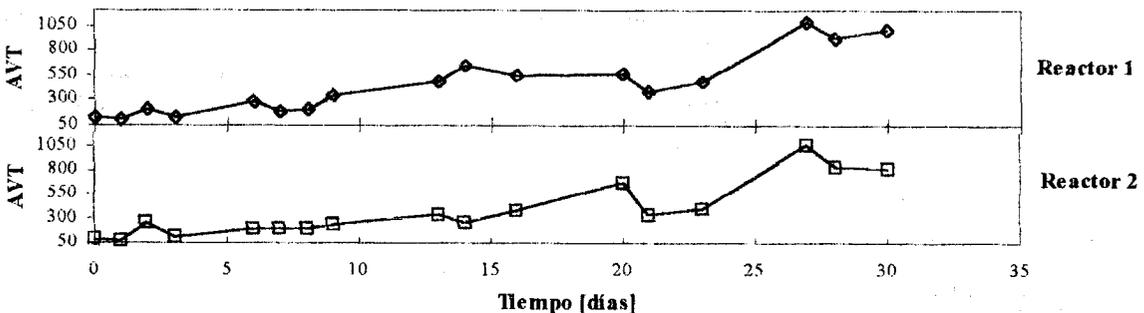


Figura 4. Evolución del contenido total de ácidos volátiles en mg Hac eq. / l en las muestras de salida



autores; la alcalinidad resulta similar en unos de los casos (Carter *et al.*, 1984) y siete veces mayor que el de otros autores (Henry *et al.*, 1982); el contenido de ácidos volátiles fue, en promedio, similar al de unos autores (Henry *et al.*, 1982) y tres veces menor que el de los otros (Carter *et al.*, 1984).

Si se calculan las eficiencias de reducción de D.Q.O. como porcentaje de la carga orgánica de entrada correspondiente y se comparan estos valores al final del ensayo, momento en que los filtros estuvieron alimentados con lixiviados sin diluir, resulta que los reactores tuvieron eficiencias algo inferiores al 10%. Aunque una eficiencia relativamente baja sea de esperar, tratándose de una primera puesta en marcha, los valores hallados resultan sensiblemente inferiores a los informados por otros autores (Henry *et al.*, 1982; Carter *et al.*, 1984) para descontaminación de lixiviados con filtros anaeróbicos. Esta diferencia

puede haberse debido al empleo de condiciones operativas (concentración o caudal de la alimentación, o tiempo de residencia hidráulico, por ejemplo) diferentes entre esos trabajos y este ensayo. Una causa importante puede haber sido el hecho de trabajar con lixiviado con una relación DBO/DQO baja (0,2) lo que indica una baja biodegradabilidad de este efluente (Pohland y Harper, 1986), frente a los 0,5 - 0,6 con los que trabajaron los autores mencionados. Otra causa de las bajas eficiencias alcanzadas pudo ser una inoculación insuficiente del material de relleno, que al final del ensayo tuvo, para los reactores, un contenido de sólidos volátiles fijados (biomasa) inferior a 10 g/l, lo que es entre la mitad y la tercera parte de lo informado en bibliografía por otros autores, para filtros anaeróbicos alimentados con efluentes diferentes al estudiado aquí (Alonso, 1988). La causa preponderante de la baja eficiencia de los filtros anaeróbicos para el tratamiento de los lixiviados del vertedero de Jujuy será determinada en ensayos futuros. Los reactores han sido reinoculados luego de esta primera puesta en marcha, con lo que se espera mejorar su eficiencia.

Los resultados de oxígeno consumido y demanda bioquímica de oxígeno al final de la puesta en marcha se encuentran en la Tabla 2, y pueden ser comparados con los límites establecidos por la reglamentación sanitaria de Jujuy para volcamiento de efluentes (Poder Ejecutivo de Jujuy, 1995), a saber: 20 mg/l para el oxígeno consumido y 50 mg/l para la D.B.O.5. De esta comparación surge que los valores obtenidos en estos estudios superan en todos los casos, para ambos parámetros, las exigencias de la reglamentación local.

Tabla 2. Oxígeno consumido y demanda bioquímica de oxígeno al final del ensayo para los líquidos de salida

REACTOR	O.C. [mg/l]	D.B.O.5 [mg/l]
1	310	210
2	290	200

AGRADECIMIENTO

A la Secretaría de Ciencia y Técnica de la U.N.Ju., por el apoyo económico brindado.

REFERENCIAS

- Alonso M. S. (1988). Étude des cinétiques de la dégradation anaérobie des acides volatils en réacteur fluidisé fermé. Influence de la température. Tesis de doctorado, editada por la Université des Sciences et Techniques du Languedoc, p.25, Montpellier, Francia.
- Alonso M.S.(1992). Influence of the acetate concentration on the recovery time of a perturbed anaerobic digester. *Biotechnology Letters*, 14, 6, 535, 538.
- Alonso M.S., Barberis S.R., Amador M.B., Ábalos M.E., Cayo N.R. y Moyano R.R. (1998). Biodegradabilidad aeróbica y anaeróbica del lixiviado de un relleno sanitario de Jujuy. Trabajo presentado en el *X Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente* (a ser publicado en la revista *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*), Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Aris R. (1973). *Análisis de reactores*, 1º edición española, pp.199-200. Editorial Alhambra, Madrid, España.
- Avezzù F., Bissoletti G., Collivignarelli C. y Volpi Ghirardini A.(1995) Behaviour of heavy metals in activated sludge biological treatment of landfill leachate. *Waste Managem. & Res.*, 13, 103-121.
- Cal Recovery Inc. (1997). Formación de lixiviado y balance hidráulico. En *Apuntes del Curso Internacional de Rellenos Sanitarios y de Seguridad*, pp. 12.1-12.12, Mar del Plata.
- Carter J. L., Curran G. M., Schafer P. E., Janeshek R. T. y Woelfel G. C. (1984). A new type of anaerobic design for energy recovery and treatment of leachate wastes. En *Proceedings of 39th Industrial Waste Conference*, Purdue University, pp. 1-17, Indiana, Estados Unidos de Norteamérica.
- Goransky R. A., Higa L. E. y Morales S. E. (1990). *Informe final INCYTH-CEAMSE del estudio de tratabilidad de lixiviados de rellenos sanitarios*, Buenos Aires, Argentina.
- Henry J. G., Prasad D., Sidhwa R. y Hilgerdenaar M. (1982). Treatment of landfill leachate by anaerobic filter. Part I: Laboratory studies *Water Poll. Res. J.* 17, 37-46.
- Nel L. H. y Britz T. J. (1986). The influence of different substrate pH values in the performance of a downflow anaerobic fixed bed reactor treating a petrochemical effluent. *Biotechnology Letters*, 8, 4, 293-298.
- Poder Ejecutivo de la Provincia de Jujuy (1995). *Decreto 3218. Normas para desagües a cursos receptores, Anexo II*, Jujuy, Argentina.
- Pohland F. G. y Harper S. R. (1986). Critical review and summary of leachate and gas production from landfills. En *EPA Cooperative Agreement CR809997 Georgia Tech.*, Environmental protection agency, Project N°-E-20-G01, Estados Unidos de Norteamérica.
- Speece R. E. (1996). *Anaerobic Biotechnology*, 1ª edición, pp. 23, 221-244. Archae Press, Tennessee, Estados Unidos de Norteamérica.
- Wilkin, P. (1995). Emisiones y lixiviados de vertederos. *Gestión de desechos*, Marzo, 53-54.

CONVERSOR MECÁNICO - TÉRMICO PARA ENERGÍA EÓLICA.

Moreno, R. C. y Guerrero, J. L.
Universidad Nacional del Comahue - Facultad de Ingeniería.
C.E.V.Eq.U.
Buenos Aires 1400 - 8300 Neuquén - Argentina.
Telefax (099) 490356
E-mail: jlg@uncoma.edu.ar

RESUMEN.

Dado que una de las formas de energía más requeridas en la Patagonia es la térmica y que la fuente eólica reviste importancia local, se analizan en este trabajo las características fundamentales del convertidor y su acople a las características de un rotor eólico de eje vertical, apto para los vientos con ráfagas direccionales de la zona. El principio del convertidor no difiere del equipo empleado para hallar el equivalente mecánico del calor, aunque sus características constructivas y fluido empleado poseen algunas situaciones de compromiso.

INTRODUCCIÓN.

Cuando se piensa en convertir la energía del viento, antiguamente se imaginaba el bombeo de agua y posteriormente en la producción de electricidad.

No obstante cabe considerar que las formas en que se presenta la energía son muchas y entre ellas está el calor.

Esta forma de la energía presenta un panorama muy atractivo. Esta apreciación está basada en que el empleo del calor en los sistemas urbanos supera en varias veces al empleo de la electricidad, claro está, considerándolo en unidades de energía y no en costo. La humanidad ha buscado habitualmente proveerse de energía en forma de calor de la manera más barata posible.

Para que el ejemplo sea claro, bastaría que se observe el consumo de energía eléctrica y el consumo de gas (con su poder calorífico) en una vivienda corriente de alguna ciudad de la zona. La primera se la dedica fundamentalmente a iluminación artificial y electrodomésticos; la segunda a cocinas, estufas, termotanques, calefones, etc., es decir se la convierte en forma de calor, aprovechándose tan sólo cerca de la mitad del potencial en las conversiones mencionadas.

El científico inglés James Joule, no imaginó quizás que su determinación del equivalente mecánico del calor, enunciado el siglo pasado, iba a tener tanta actualidad en el presente, y es más que su máquina diseñada a tal efecto no diferiría mucho de la que actualmente se emplearía.

Por otra parte, esta forma de conversión, va al encuentro de uno de los problemas capitales de la conversión de la energía eólica que es la acumulación. Al presente la acumulación de energía eléctrica es muy costosa. Se la mitiga incorporando los equipos convertidores eólicos a las redes interconectadas de distribución, aunque en este caso también se presentan algunos inconvenientes. Se plantea la acumulación de otras maneras como energía potencial de agua bombeada o generación de gases acuíferos. Estas formas de acumulación conllevan una conversión que en general posee un rendimiento muy distinto de la usual.

La acumulación de la energía térmica, si bien posee pérdidas como la mayoría de las acumulaciones de energía, éstas no serán consideradas.

EL EQUIPO DE J. JOULE Y EL SISTEMA EÓLICO - TÉRMICO.

En el siglo pasado, en los albores de la termodinámica, aún no se consideraba [1] al calor como una forma de energía y esta cuestión preocupaba a muchos pues ya se conocía el consumo de una parte de la energía mecánica en la generación del mismo debido a los inevitables rozamientos. El ingenio de J. Joule le permitió hacer una máquina sencilla para generar calor a partir de la energía mecánica (Fig. 1). Se basó en la fricción por viscosidad del fluido empleado, agua en su caso, y unas paletas que se movían por una acción mecánica. Como consecuencia de este fenómeno obtuvo que la temperatura del agua se elevaba, y en función de la masa de la misma y cuantificando la energía mecánica (potencial) entregada obtuvo su famosa relación:

$$1 \text{ BTU (British Thermal Unity)} = 777.9 \text{ Pies} \times \text{Libra}$$

Basado en este principio, y con pocas variantes orientadas al mejoramiento de la conversión y a necesidades de control de los generadores eólicos es que se conciben los sistemas en la actualidad.

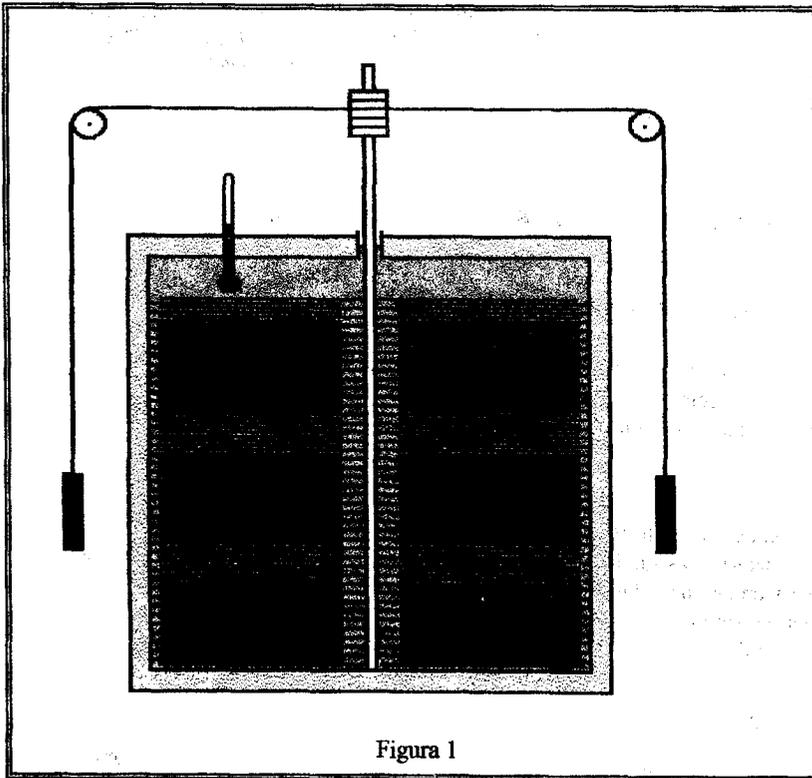


Figura 1

En la zona, los vientos arrafagados, no sólo por velocidad sino también por dirección, hacen necesaria la utilización de generadores eólicos de eje vertical, poco susceptibles ante estos efectos. En particular los del sistema Darrieus [4], los que para comenzar su movimiento deberán ser acoplados con otro tipo Savonius, o bien algún otro motor.

Esta configuración presenta para este tipo de conversión ciertas ventajas. El eje permite que el convertidor esté al nivel del suelo y pueda ser pesado ya que no hay que elevarlo, se puede pensar en un funcionamiento por termosifón, aunque esto acarrearía inconvenientes en instalaciones grandes, y en general se pueden minimizar las pérdidas térmicas del transporte del fluido caliente.

Cabe aclarar que el rendimiento de la conversión es muy cercano a la unidad, ya que inclusive las pérdidas por rozamiento mecánico pueden ser utilizadas como generación de calor.

Si bien la acumulación final puede realizarse en agua, la que tiene el mayor calor específico posible, es razonable que el fluido líquido de conversión en lo sea. Una de las razones serían una mayor tolerancia a temperaturas altas sin que pase a la fase de vapor, es decir por encima de los 100 °C a presión atmosférica (que sería el punto de ebullición del agua). De esta manera se puede trabajar con mayor margen sin que se eleve la presión ni que existan efectos de cavitación en el convertidor. Otra razón es que un fluido líquido intermedio puede ser desgasificado casi totalmente y siempre sería el mismo, con lo que se evitaría el desprendimiento de gases al elevarse su temperatura, y así evitar la producción de espumas, elevación de presión de la fase gaseosa, etc.

En el circuito cerrado debe plantearse una trampa de gases para el caso de que se produzcan como así mismo un sistema de reposición y compensación para el caso de pérdidas o dilataciones. Además de una bomba de circulación que por razones de funcionamiento debe colocarse en la rama más fría del circuito.

Considerando el régimen variable de la potencia entregada por generador eólico deben adoptarse algunas precauciones. Dentro del convertidor, debe existir además un sistema de frenado por fricción del generador eólico, que automáticamente responda tanto a las necesidades de éste como a las de las temperaturas del líquido intermedio, o bien de la acumulación.

CARACTERÍSTICAS DEL CONVERTOR.

La mecánica de los fluidos [2] resuelve analíticamente las características de fuerzas o torques entre movimientos relativos de superficies sólidas, separadas por un fluido viscoso, tan sólo para algunas configuraciones simples e ideales.

El caso que nos ocupa dista mucho de estas suposiciones. En primer lugar, aunque la velocidad angular sea constante la tangencial varía radialmente con lo que sería necesario un análisis que incluya esta variación. En segundo lugar, las dimensiones son finitas, razón por la cual los efectos de borde simplemente no son evaluables en este análisis. En tercer lugar, el fluido viscoso posee, por necesidades de circulación, un movimiento perpendicular al movimiento relativo de las superficies sólidas, lo que deviene en un movimiento total relativo variable en cada punto y dependiente tanto de la velocidad de circulación como la angular del convertidor. En cuarto y último lugar, es de hacer notar que las propiedades viscosas del fluido disminuyen con la temperatura.

Estas situaciones complican el análisis del convertidor. Aparentemente la solución estaría en el empleo de una analogía entre los discos del convertidor y la longitud de un juego de cilindros concéntricos ocupando los espacios libres de ambos casos con el mismo fluido viscoso y a igual temperatura.

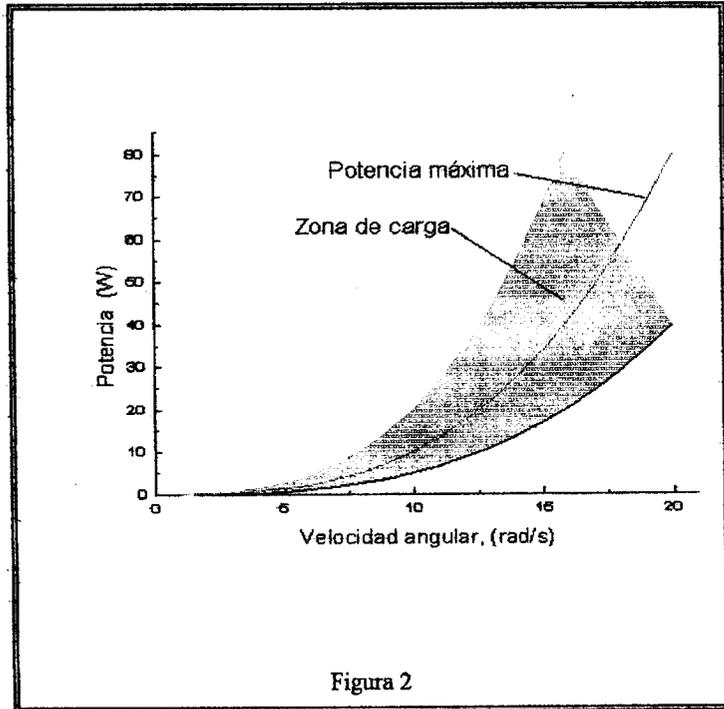
Estas situaciones no permiten hasta el presente poder definir las características de potencia de carga del convertidor. No ocurre lo mismo con el aprovechamiento energético que es prácticamente total (salvo las inevitables pérdidas térmicas), entendiendo como energía primaria la entregada en su eje de rotación.

ACOPLE CON EL ROTOR EÓLICO.

Los rotores eólicos de eje vertical del sistema Darrieus en principio pueden ser diseñados para distintas velocidades de giro para igual velocidad del viento. Los rotores de menor velocidad angular presentan menos inconvenientes de fatiga y por ende constructivos. No obstante cabe aclarar que la potencia máxima entregada es la misma ante la misma velocidad del viento [3].

Esta potencia máxima sólo es entregada cuando la carga la requiere para funcionar con la misma velocidad angular, en caso contrario la potencia entregada será menor, apareciendo un elemento más que baja el rendimiento.

En el gráfico de la figura 2 se han volcado la curva de potencia máxima de un rotor de mediana velocidad y la amplia zona de variación de la carga del convertidor para un caso particular estudiado cuyos datos son aproximados.



REFERENCIAS

1. Renick, R. y Halliday, D. **Física. Parte I.** Compañía Editorial Continental, S.A. México. 1978.
2. Brun, Martinot, Lagarde, Mathieu. **Mecánica de los fluidos. Parte V.** Editorial Labor S.A, Primera Edición. Barcelona, España, 1980. 629 pp. ISBN 84-335-6417-X.
3. Freris, L. L. **Wind energy conversion system.** Ed. Prentice Hall Internacional Ltd. ISBN 0-13-960527-4. U.K., 1990.
4. Le Gourières, D. **Energía Eólica.** Ed. Masson, S.A. Barcelona. 1983.



TURBINAS SAVONIUS PARA BOMBEO DE AGUA Y PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA 1° ETAPA: DETERMINACION DE PARAMETROS OPERACIONALES

Marcelo A. Gerez - Guillermo E. Gonzalo

Instituto de Acondicionamiento Ambiental - FAU - U.N.T.

Av. Roca 1900 - 4000 - Tucumán - Argentina

Tel. +54-81.364093 int.125 - Fax.: +54.81.364141 - Email: gonzalo@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo es el resumen de un estudio destinado a determinar los parámetros operacionales de las turbinas Savonius en vista al desarrollo de un aerogenerador de baja potencia. Tomando como base los trabajos del Brace Research Institute, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Mc Gill de Canadá y las experiencias recogidas en el desarrollo de aerobombardadores KALAI por parte de uno de los autores, El Instituto de Acondicionamiento Ambiental de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la U.N.T, en el marco del Seminario de iniciación a la docencia e Investigación: Arquitectura bioclimática y proyecto de investigación 28/B014 del CIUNT, ha llevado a cabo una serie de ensayos cuyos resultados exponemos a continuación.

Esta primera etapa contempla la determinación de parámetros operacionales, habiéndose realizado un convenio con un colegio técnico para la construcción de tres prototipos a escala total, que serán evaluados en el período 1998-1999, en diferentes localizaciones de la provincia de Tucumán.

LA TURBINA SAVONIUS

Los Molinos de viento convencionales se pueden dividir en dos tipos, que se diferencian por la posición del eje principal de la máquina. Sin embargo, a pesar de ser los molinos de eje vertical, las primeras herramientas de aplicación utilitaria del viento - fuera de la navegación - quedaron relegados por la aparición del molino de eje horizontal que se adaptaba más al estado de la técnica en esa época, fundamentalmente para las tareas de extracción de agua mediante la rueda a cangilones.

La primera mejora importante al molino de eje vertical fue hecha por el ingeniero finlandés Siggurd Savonius, quién diseñó un sistema de rotor que lleva su nombre. La turbina Savonius en un cilindro cortado diametralmente y ambas mitades desplazadas una respecto de otra en una fracción del radio.

La turbina Savonius tiene la ventaja de su propia regulación. Cuando la velocidad del viento alcanza valores elevados, la presión ejercida sobre su aspa receptora (superficie cóncava) aumenta, pero también se genera una zona de alta turbulencia que genera un retardo en el aspa que se le enfrenta (superficie convexa) y, por tanto, el riesgo de sobrepasar la velocidad crítica de rotación, se elimina automáticamente sin necesidad de ningún mecanismo complicado de regulación. La otra gran ventaja de todos los aparatos de eje vertical es que no necesitan orientarse hacia el viento, puesto que actúan con cualquier dirección del mismo.

Considerados como eólicos lentos, los rotores Savonius no alcanzan el mismo rendimiento que una máquina multipala, pero su sencillez de construcción, su excepcional poder de autoarranque, su capacidad de operación ante vientos de baja intensidad y de autorregulación ante vientos de alta velocidad, los bajos costos que demandan su fabricación y mantenimiento, señalan a esta turbina como la más indicada para implementarse en forma masiva en zonas rurales de escasos recursos y con demandas de sistemas extractores de agua para uso consuntivo, ganadería o agricultura en pequeña escala, o bien, como elementos motrices de sistemas de baja potencia para generación de energía eléctrica, susceptibles de construirse con materiales y tecnologías rudimentarias, en vista a su aplicación en zonas en donde no llegan las redes de distribución para electrificación de viviendas, escuelas y establecimientos rurales, para servicios de iluminación, televisión, bombeo de agua, comunicaciones etc.

Las tareas de investigación consistieron en una primera etapa, en hacer una exhaustiva evaluación de las características aerodinámicas de las turbinas Savonius y determinar posteriormente la capacidad de generación de dos modelos, uno según por el Brace Research Institute, (turbina tipo 1), y el prototipo standart empleado en el aerobombardador Kalai, desarrollado por el estudiante Marcelo Gerez, (turbina tipo 2), ensayado durante los años 95 y 96 en la localidad de Santa Victoria Este (Salta). Actualmente, bajo la supervisión del arquitecto Guillermo E. Gonzalo, se están realizando los ensayos necesarios para evaluar la performance de un sistema mixto compuesto por una turbina Savonius y una turbina multipala de eje vertical.

Los valores de potencia determinados para la turbina tipo 1, se tomaron de "Cómo fabricar un tipo de molino de viento de bajo costo, para bombeo de agua", publicación del Brace Research Institute, McGill University, Canadá, 1977. Las mediciones aerológicas de la turbina tipo 2, se efectuaron con una minicentral meteorológica Davis Weather Wizard II - S. con las que se determino la velocidad y dirección del viento. La velocidad de rotación de la turbina se determinó con un tacómetro. Las cargas para determinar el torque fueron aplicadas a través de un mecanismo de palanca y resorte calibrado. El sistema mixto (turbina tipo 3) fue ensayado en vacío, en el predio de Localizaciones Universitarias de la U.N.T.

Durante los años 1995 y 1996, por iniciativa privada se construyeron y ensayaron en la provincia de Salta, dos modelos de turbinas Savonius para estudiar su aptitud como aerobombecedores. Las mismas fueron emplazadas en el Dpto. Rivadavia. Las pruebas a las que fueron sometidas en una primera etapa, consistieron en la determinación de la curva Velocidad de viento - Potencia desarrollada, a los efectos de diseñar el mecanismo de bombeo más eficiente. Estos datos que conforman los parámetros operacionales de dichas turbinas, se consignan en la hoja 3.

Conforme a estos valores, se dispuso un mecanismo formado por un par de engranajes cónicos con una relación de desmultiplicación 6:1, un sistema de biela - manivela, siendo esta última compensada con pesas para reducir el esfuerzo de arranque y mejorar las condiciones de operación. El sistema en cuestión presta servicio bombeando agua desde una napa ubicada a 25 m de profundidad utilizando una bomba de émbolo, con un cilindro de 2 ½ pulgadas por 14 pulgadas. En el año 1997 se ha construido otra turbina de mayores dimensiones a las citadas para trabajar con alturas manométricas de 40 m. Esta turbina aún se encuentra en fase de ensayos.

El Instituto de Acondicionamiento Ambiental de la FAU-U.N.T. ha promovido el estudio y la construcción de un aerogenerador de baja potencia para su aplicación en la zona de los Valles Calchaquíes. Dado que para este fin es preciso contar preferentemente con eólicos de alta velocidad, se orientó el estudio a comparar las velocidades de los Savonius que cuentan con una panémona incorporada (sistema mixto) frente a la turbina sin panémona (sistema individual).

Los resultados indicaron que es mucho más práctico operar con la turbina sola (sistema individual), por razones constructivas, dado que la premisa de este desarrollo es obtener sistemas eólicos susceptibles de construirse con ínfimos recursos económicos y técnicos. Dichas turbinas, de características geométricas distintas a las utilizadas en el proyecto del aerobombecedor Kalai, están siendo construidas y serán ensayadas a los efectos de conocer sus parámetros operacionales a partir de los primeros meses del año venidero.

TURBINA TIPO 2 - PARAMETROS OPERACIONALES

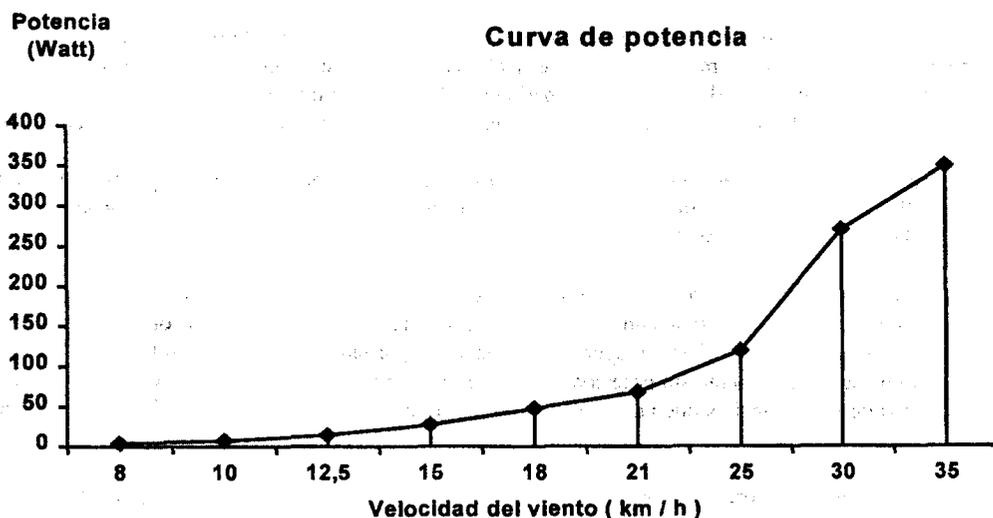


Fig.1 Curva de potencia de Turbina tipo Kalai.

Referencias

R	233,6 cm
R'	116,8 cm
D	127,3cm
S/D	0,165
H	200 cm

Fig.2 Características Geométricas (esquema figura 4)

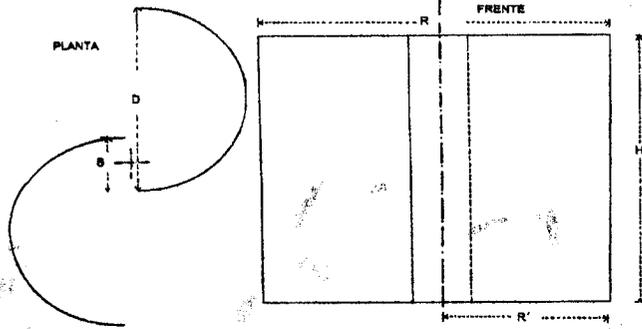
Fig.3 Aerobombecedor Kalai (Prototipo desarrollado por el Sr.: Marcelo Gerez)



Fig.4 Dimensiones de la turbina

Fig.5 Tabla de torques determinados

Velocidad del viento (km/h)	Torque (kg.m)
8	0,24
10	0,38
12,5	0,52
15	0,79
18	1,11
21	1,33
25	2
30	3,7
35	4,2



APLICACIONES

- Bombeo de agua (Alturas manométricas 10 a 25 m)
- Cargador de batería
- Fem para servicio de baja potencia

ESTUDIO DEL INCREMENTO DE VELOCIDAD EN SISTEMAS MIXTOS

Curva de incremento de velocidad

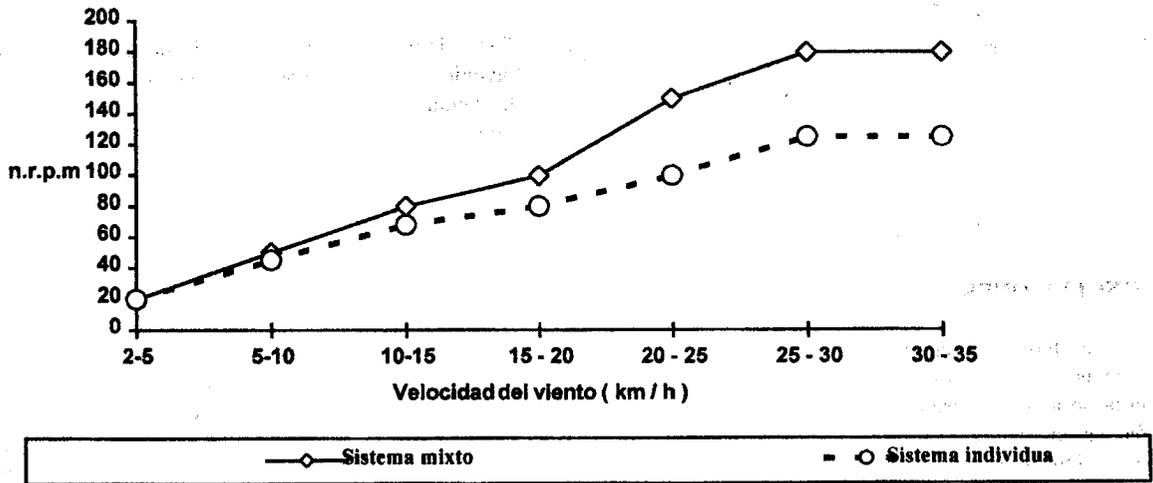


Fig.6 Curva de incremento de velocidad



Fig.7 Simulación por fotomontaje del uso de una turbina Savonius en vivienda familiar.¹ La turbina podría reemplazar aproximadamente a 5 colectores fotovoltaicos y

¹ Gonzalo G.E. y R.E.Gonzalo, Vivienda Bioclimática en Yerba Buena, en el libro Sayigh A.A.M., "Energy and the Environment" ISBN 0-08-037539-1, capítulo: "A Bioclimatic House in Hot Humid Climate", Oxford, Pergamon Press, 1990.

proveer iluminación y energía eléctrica.



Fig.8 Prototipo ensayado en torre de servicios, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UNT.

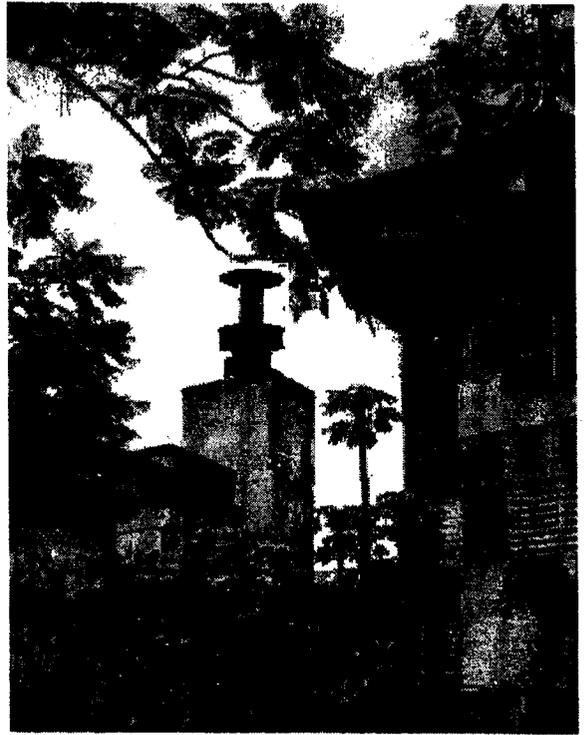


Fig.9 Simulación por fotomontaje del uso de una turbina Savonius como la experimentada, en escala real, en torre de tanque de agua en Facultades de Arquitectura e Ingeniería.

CONCLUSIONES

Sobre la base a la determinación de los parámetros operacionales de los distintos modelos de turbinas, es factible diseñar sistemas eólicos de alta eficiencia. Si se contemplan las condiciones particulares de cada caso (altura manométrica, dotación diaria de agua requerida, consumos energéticos, etc.), y conociendo las características aerológicas regionales, se puede efectuar un diseño y dimensionado racional de todos los elementos que componen un sistema eólico de bombeo o generación de energía eléctrica, conjugando máximos rendimientos con mínimos costos. De allí la importancia de estos ensayos.

A la luz de los resultados obtenidos en las turbinas tipo 2, podemos decir que la misma es idónea para asistir como elemento motriz de sistemas de bombeos en zonas con vientos moderados. La sencillez y robustez de sus elementos mecánicos la hacen apta para implementarse en zonas carentes de asistencia técnica especializada. Estas turbinas, constituyen un elemento idóneo, formando parte de las llamadas tecnologías intermedias, para el desarrollo regional.

DISEÑO DE UN AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA. 1^{ER} ETAPA.

José Luis Rodríguez, Mario Guerrero, Ana María Giménez, Marcelo Ruiz, Jorge Carvajal, Juan Vuanello

Área de Energías Alternativas. Instituto de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería. U.N.S.J.

Av. Libertador San Martín 1109 Sur, (5400) – San Juan. Tel.: 211700, int. 320.

Fax: 064-210277. E-mail: jlrodri@unsj.edu.ar.

RESUMEN.

El objetivo planteado es el diseño, desarrollo y construcción de: perfiles alares, alternadores, sistemas de freno y transmisión, bombas, elementos para control, etc. de un aerogenerador de potencia entre 3000 y 4000 W, con el objeto de generar corriente que pueda ser usada en zonas aisladas para bombeo de agua y para iluminación de pequeños asentamientos rurales.

DETERMINACIÓN DEL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO Y MEDICIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO.

Se hicieron dos visitas al lugar elegido. El año pasado a instancias del Intendente de Valle Fértil, y con el objeto de solucionar el problema puntual de falta de agua de algunas pequeñas comunidades aisladas, se había preseleccionado la zona de Baldecito en la que existía un antiguo molino multipala, ahora fuera de servicio.

El único equipo completo de mediciones que poseemos, en conjunto con la Subsecretaría de Recursos Energéticos de la Provincia, se encontraba instalado desde hace 2 ½ años en la localidad precordillerana de Rodeo. Luego de desmontarlo y traerlo, se comprobó que estaba descalibrado. Este equipo es importado, tanto el anemómetro, la veleta, como el datalogger, por lo que recién se pudo reparar en el mes de octubre. A principios de noviembre del año pasado, se lo instaló en la antena de la policía a 10 m de altura. De todas maneras hemos realizado estimaciones geográficas y de antecedentes, que nos permiten suponer que en ese paraje tendremos el potencial eólico necesario para el aerogenerador a diseñar.

DISEÑO DE PALAS.

Se estudiaron los perfiles alares existentes para adoptar el más cercano a lo predimensionado en la etapa anterior. Luego de analizar una serie de alternativas se optó por trabajar en forma conjunta con un fabricante de pequeños aerogeneradores (menor de 1000 Watts) quien construyó las tres palas, de plástico reforzadas con fibra de vidrio. Se prosiguió con la tarea de diseñar, calcular y construir el ensamble necesario. La fijación de las palas al rotor se realiza a través de un encastre cónico a efecto de permitir el ajuste y variar el ángulo de calaje.

SISTEMA DE FRENOS.

Si bien el prototipo de generador eólico es de una potencia de 3 a 4 kW, a los fines de análisis se adoptó un valor mínimo de 7 kW, suponiendo posibles embalamientos del rotor o inercia del sistema actuador para el control de frenado.

A fin de evitar construir un sistema de frenos, se decidió analizar distintas alternativas de frenos que se encuentran funcionando en diversos sistemas para adaptarlos a esta aplicación, y fundamentalmente en el caso de recambio de algún elemento constitutivo, que pueda encontrarse en cualquier negocio del ramo con costos razonables.

El par que hay que frenar en el generador, suponiendo una potencia de 7 HP y una velocidad de rotación de 500 rpm es:

$$P=(M*N)/716 \text{ [HP]} \Rightarrow M=7*716/500=10.024 \text{ kg.m}$$

Luego de analizar y calcular distintos sistemas de frenos comerciales, se encontró que utilizando el tambor delantero de motos de 50cc. (tipo Daelin) puede frenar un torque de $M=25.7 \text{ kg.m}$ verificando que es posible frenar el generador sin mayor problema.

Se debe modificar la posición del eje de la zapata para hacer que este freno sea auto-aplicable, de tal forma que a la velocidad determinada, una veleta adicional, accione la palanca que mueve la zapata hasta ponerla en contacto con el tambor. En este momento el freno se autoaplica, o sea frena hasta que haya cesado el viento o las ráfagas de alta velocidad. Este sistema de frenado a cero, evita el excesivo desgaste de la materia antifricción de la zapata.

GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.

La investigación se ha centrado en la selección de la máquina eléctrica de generación más apropiada para la aplicación. Dentro de las pautas de selección consideramos de fundamental importancia el costo de la misma y su disponibilidad en el mercado.

Basándonos en esta última consideración se optó por estudiar el comportamiento eléctrico de un alternador de los utilizados en la industria automotriz, pues cumple con ambos requisitos.

Evaluando cualitativamente las prestaciones de este tipo de alternador podemos enunciar las siguientes ventajas:

- Amplio rango de velocidad de funcionamiento, tanto desde el punto de vista del sistema eléctrico como del sistema mecánico.
- Posibilidad de transformar y elevar la tensión generada para un más eficiente transporte de energía a distancias relativamente grandes.
- Posee anillos rozantes en lugar de colector (máquina de C.C.), lo que reduce sustancialmente el mantenimiento.
- Posibilidad de encontrar alternadores comerciales de bajo costo.

De acuerdo a lo expresado precedentemente se iniciaron los estudios utilizando un alternador marca Indiel de 24 Volt y 35 Amp.

DEFINICIÓN DE LOS ENSAYOS.

Con el objeto de conocer las características de funcionamiento del alternador se realizaron los siguientes ensayos:

a) Determinación de la característica de vacío

$V_{sal} = f(I_{ex})$ para $n = cte$ y $I_{sal} = 0$

V_{sal} : Tensión rectificada en bornes de la máquina

I_{ex} : Corriente de excitación (arrollamiento de campo).

n : número de revoluciones por minuto.

Los datos obtenidos de este ensayo permiten determinar el valor inicial del rango de velocidades de giro.

Este valor mínimo de rpm se determina en base a:

Máxima corriente de excitación admisible por el arrollamiento de campo.

Saturación del circuito magnético de la máquina.

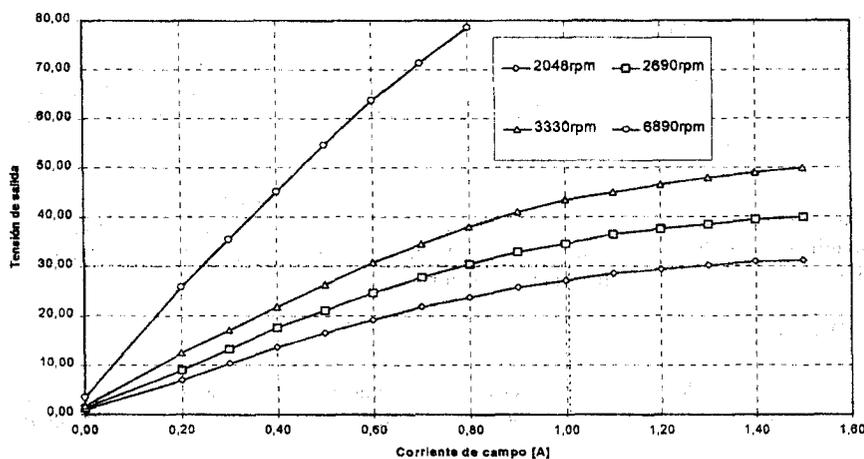
Mínima tensión necesaria para el funcionamiento del controlador electrónico que administra la potencia a la unidad de consumo (bomba o baterías).

Alternador: Marca Indiel, 24 Vdc 35 Amp.

Valores medidos

I_{ex}	V_{sal} para			
	2048rp	2690rp	3330rp	6890rp
0,00	0,95	1,25	1,70	3,32
0,20	1,00	1,40	1,75	2,38
0,30	1,05	1,55	1,77	3,54
0,40	1,35	1,75	2,18	4,51
0,50	1,68	2,12	2,62	5,46
0,60	1,92	2,42	3,08	6,37
0,70	2,18	27,8	34,5	71,3
0,80	23,8	30,5	38,0	78,6
0,90	25,8	32,9	41,0	
1,00	27,2	34,6	43,5	
1,10	28,6	36,5	45,0	
1,20	29,4	37,6	46,5	
1,30	30,2	38,5	48,0	
1,40	31,0	39,5	49,0	
1,50	31,2	40,0	50,0	

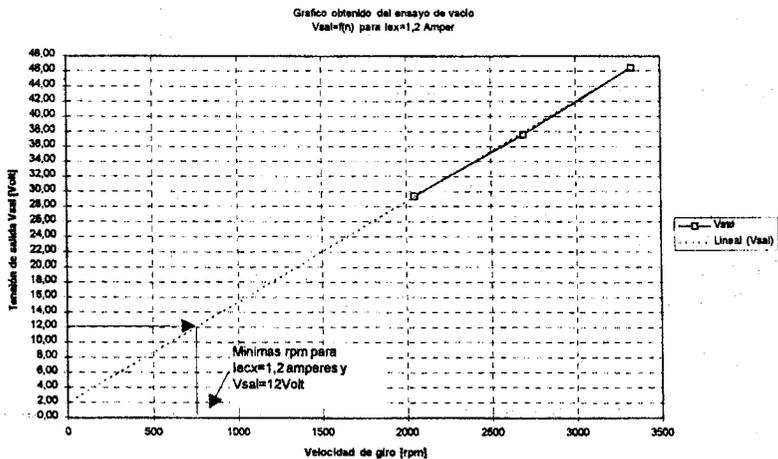
Característica de vacío $V_{sal} = f(I_{ex})$ para $n = Cte$.



La figura muestra los valores de tensión rectificada, en terminales de salida en función de la corriente de excitación para distintos números de revoluciones. Estas curvas fueron determinadas en forma experimental en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas del Departamento de Ing. Electromecánica utilizando una dinamo-péndulo como motor de impulso con transmisión mediante correa "V". De este ensayo se obtiene el valor de la corriente de excitación máxima.

Considerando que en nuestra aplicación el número de revoluciones puede variar entre amplios límites según la velocidad del viento, se estimó necesario determinar el mínimo número de revoluciones para el cual es posible obtener una tensión de salida mínima de 12 Vdc (Para el funcionamiento de la electrónica de regulación), con corriente de excitación máxima.

De los valores de ensayo se obtuvo la siguiente tabla:



Alternador: Marca Indiel, 24 Vdc 35 Amp.
Iex max: 1,2 amp

n	Vsal
2048	29,40
2690	37,60
3330	46,50

Graficando los valores tabulados y extrapolándolos se obtuvo que el número de revoluciones por minuto mínimo para el funcionamiento del sistema es 750 rpm. Cabe aclarar que a este régimen de funcionamiento la potencia a transferir es también mínima.

b) Determinación de la característica de potencia de salida y rendimiento en función de la corriente de excitación.

$P_{sal} = f(I_{ex})$ para $V_{sal} = cte$ y $n = cte$

P_{sal} : Potencia útil en terminales de máquina

V_{sal} : Tensión rectificada en bornes de la máquina

I_{ex} : Corriente de excitación (arrollamiento de campo).

n : número de revoluciones por minuto.

Los datos obtenidos de este ensayo son útiles para el diseño del controlador. Este será el que determine la corriente de excitación para todos los regímenes de funcionamiento del sistema.

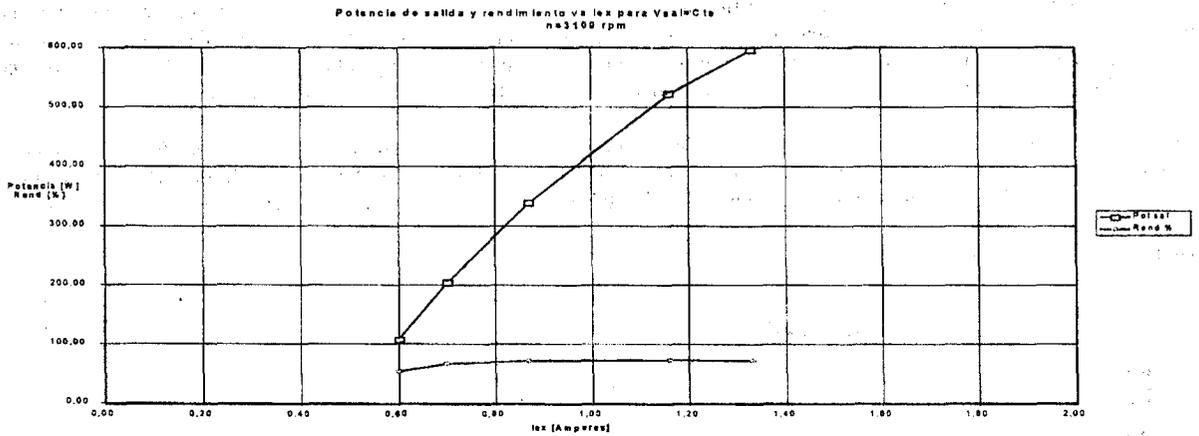
En este ensayo, realizado mediante el uso de una dinamo-péndulo (como motor de impulso) se determinó también el rendimiento de la máquina para dos valores de velocidad de giro distintos. A continuación se muestran las dos tablas y uno de los gráficos correspondientes.

ENSAYO EN CARGA DE ALTERNADOR

Alternador: Marca Indiel, 24 Vdc 35 Amp.

Amp Iex	Amp Isal	Kgm T	Volt V	rpm ndp	rpm n	rad/seg n	Kgm/seg Pot ent	CV Pot ent	Watt Pot ent	Watt Pot sal	% Rend %
0,60	4,50	0,13	24,00	1492,59	3100,00	158,30	20,32	0,27	199,83	108,00	54,18
0,70	8,50	0,20	24,00	1487,78	3090,00	155,80	31,16	0,42	305,88	204,00	66,74
0,87	14,10	0,31	24,00	1478,15	3070,00	154,79	47,99	0,64	470,74	338,40	71,89
1,16	21,75	0,48	24,00	1453,11	3018,00	152,17	73,04	0,97	718,54	522,00	72,85
1,33	24,80	0,57	24,00	1408,78	2928,00	147,83	84,15	1,12	826,51	595,20	72,10

Amp Iex	Amp Isal	Kgm T	Volt V	rpm ndp	rpm n	rad/seg n	Kgm/seg Pot ent	CV Pot ent	Watt Pot ent	Watt Pot sal	% Rend %
0,76	0,00	0,05	24,00	1023,15	2125,00	107,14	5,38	0,07	52,55	0,00	0,00
0,92	4,48	0,17	24,00	1030,85	2141,00	107,95	18,35	0,24	180,03	107,52	59,72
1,15	8,80	0,29	24,00	1011,11	2109,00	105,88	30,60	0,41	300,19	211,20	70,38
1,83	15,10	0,49	24,00	985,59	2047,00	103,21	50,57	0,67	496,13	362,40	73,05



En las gráficas se ha representado el rendimiento y la potencia de salida para distintos valores de la corriente de excitación para V_{sal} constante en 24 Vdc y a dos regímenes de rpm distintos. Se puede observar que para la corriente de excitación máxima I_{ex} = 1,2 Amperes, la potencia de salida es de aproximadamente 540 W para 3100 rpm y de 215 W para 2100 rpm. La banda de rpm de funcionamiento del alternador deberá adaptarse al de la hélice para un máximo aprovechamiento de la potencia disponible mediante una caja multiplicadora.

El rendimiento determinado de esta máquina es del orden del 70%, lo que se considera algo bajo.

Se está analizando la posibilidad de repetir estos ensayos con máquinas de distintos fabricantes y de la potencia adaptada a la mecánica nominal de la hélice que se está desarrollando.

SISTEMA DE CONTROL

Partiendo del tipo de generador seleccionado, y tomando en cuenta los ensayos ya realizados en el alternador de tipo comercial, se está diseñando un sistema de control PID, para que el alternador suministre la máxima potencia para los distintos rangos de r.p.m. al que va a estar sometido, por las variaciones de los vientos. Esto lleva a controlar la máxima potencia, en función de la corriente de excitación del mismo, perturbado por las variaciones de las r.p.m. y los distintos estados de carga. A tal fin se está trabajando con el microcontrolador Motorola 68hc11 que tiene incorporado conversores analógico-digitales, permitiendo realizar lecturas con pocos circuitos anexos de las variables a controlar y necesitando para su funcionamiento una fuente de poder de muy baja potencia y por ende de bajo mantenimiento y costo.

REFERENCIAS.

- Kreider, J.F. and Kreith, F. 1981 "Solar energy hand book". E.E.U.U.
- Miner, 1997. "Principios de conversión de la energía eólica". Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) Madrid, España.
- Rosato, M.A. 1991 "Diseño de máquinas eólicas de pequeña potencia". Sevilla, España.
- United States Government Printing Office. Annual Reports NACA.
- Progens. 1997. "Energía Eólica". Madrid. España.

DESTILACIÓN DE AGUA CON FIBRAS HUECAS: BARRIDO DEL VAPOR CON AIRE Y CONDENSACIÓN EN CONTACTO DIRECTO*

Marcelo Gea y Graciela Lesino*

INENCO

Universidad Nacional de Salta

Calle Buenos Aires 177 - CP4400 - Salta

Tel - Fax: 087-255489 E-mail: geam@ciunsa.unsa.edu.ar

RESUMEN

La destilación de agua con membrana es un proceso en el cual una membrana con microporos hidrofóbica separa la solución salina caliente del agua destilada más fría. Esta diferencia de temperaturas genera una diferencia de presiones de vapor entre los lados que produce la migración de agua en forma de vapor. El objetivo de este trabajo es evaluar las probables ventajas de barrer con aire el vapor del lado frío y condensarlo sobre una superficie que no pertenezca a la membrana, disminuyendo la transferencia de calor por conducción. Se propone realizar la condensación en contacto directo del vapor de agua en condensadores tipo packing estructurado los cuales poseen un elevado coeficiente de transferencia de calor por unidad de volumen.

Se presentan los resultados de una simulación numérica de los fenómenos de intercambio de calor y masa de un sistema formado por una unidad de fibras huecas de polímero, un condensador y el aire circulando en circuito cerrado. Se estudia la producción de destilado en función del tamaño del condensador y de los flujos de aire y agua.

INTRODUCCIÓN

La destilación por membranas es un proceso relativamente nuevo de desalinización. En ellas el proceso de destilación se lleva a cabo con diferencias de temperatura menores de 50°C. Si además se considera la utilización de energías solar para calentar la solución salina y una adecuada recuperación del calor transferido en el proceso, el método puede resultar económicamente atractivo [Lesino, 1996].

Para que se produzca la destilación es necesaria una diferencia de presiones de vapor entre los lados de una membrana hidrofóbica que permite la difusión del vapor de agua a través de ella. La membrana actúa como soporte físico de la interfase líquido - vapor. La diferencia de presiones es generada habitualmente por la diferencia de temperaturas entre la solución salina caliente de un lado de la membrana y el agua destilada fría del otro lado.

En un trabajo previo se planteó la posibilidad de barrer con aire el vapor que atraviesa la membrana, y que luego este condense en otra superficie, fuera del destilador [Gea et al., 1997]. Se concluyó que esta alternativa se justifica en que operando sobre la temperatura del aire se logra independizar la producción de destilado de las pérdidas térmicas por conducción a través de la membrana. Es decir que, a diferencia con el barrido con agua, se puede considerar la posibilidad de aumentar la temperatura del aire de entrada y así disminuir las pérdidas de calor sin disminuir la producción. Esto significa una ventaja porque la conveniencia económica del proceso es fuertemente dependiente de la recuperación del calor total (sensible y latente). Además, al poder controlar las pérdidas por conducción, se incorpora la posibilidad de utilizar membranas de menor espesor con las que se consigue mayor producción.

Como contrapartida se introduce una mayor complejidad en la etapa de condensación, debiendo agregarse un intercambiador para la condensación del vapor de agua. Debe considerarse que al utilizarse aire más caliente para disminuir las pérdidas es más complicado el proceso para la condensación.

* Proyecto N°649 del Consejo de Investigación de la UNSA

* Investigadora del CONICET

CONDENSACIÓN EN CONTACTO DIRECTO

La condensación en contacto directo permite eficiencias térmicas elevadas en condensadores de pequeñas dimensiones, con bajas pérdidas de carga en el gas y con menores costos de operación que los condensadores de superficie usados comúnmente.

Entre los condensadores de contacto directo para aplicaciones industriales se utilizan los llamados packing, que permiten transferencias de calor y masa en pequeños volúmenes. Últimamente se han adoptado, especialmente en torres de enfriamiento los packing estructurados, los cuales se caracterizan por un elevado coeficiente de transferencia volumétrico, del orden de $1 \text{ MW/m}^3\text{K}$, frente al rango típico de $150 \text{ a } 300 \text{ KW/m}^3\text{K}$. En ellos el líquido se distribuye sobre una serie ordenada de placas inclinadas construidas en metal, plástico o malla metálica. El fluido atraviesa alternativamente secciones triangulares y romboidales produciéndose una redistribución continua del flujo líquido y un relativamente simple camino para el gas [Zangrando et al, 1993].

En el National Renewable Energy Laboratory (NREL) se desarrolló un intensivo programa de testeo de condensadores que tuvieran una alta eficiencia térmica para usarse en ciclos de conversión de energía térmica oceánica en los cuales la diferencia de temperaturas disponibles es muy limitada (aproximadamente 20 C) [Bharathan et al, 1988]. Allí los intercambiadores deben condensar el vapor con una elevada eficiencia y una muy baja caída de presión. De estos estudios resultó que quienes mejor cumplían estas características eran los packing estructurados.

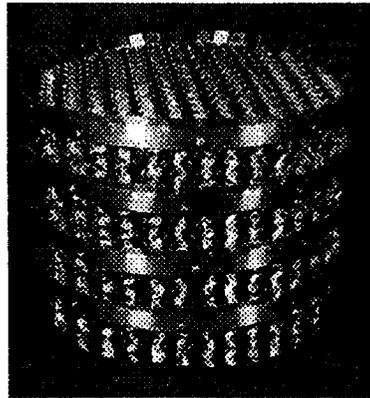


Fig. 1. Unidad de packing estructurado. (Gentileza Jaegger S.A.)

MODELO COMPUTACIONAL

Se realizó un programa computacional que simula el funcionamiento del sistema integrando dos programas ya existentes: el de la unidad de membrana y el del condensador de contacto directo. El primero fue desarrollado en el INENCO y calcula el permeado en la membrana barriendo el vapor con aire bajo las distintos parámetros de funcionamiento. El segundo fue desarrollado durante el programa del NREL. El modelo calcula los procesos de transferencia unidimensional de calor, masa y momento y obtiene las propiedades del vapor, el aire y el líquido a lo largo del condensador bajo condiciones estacionarias.

Como la fracción de no condensables en la mezcla aire - vapor es predominante, no es posible el condensado de un elevado porcentaje del vapor presente en el aire. Por ello se plantea que el gas realice un circuito cerrado en el sistema. La dirección de este flujo G es en contracorriente, tanto en la membrana respecto a la solución salina como en el condensador respecto al agua pura. El flujo L de agua en el condensador deberá pasar por otro intercambiador para la recuperación del calor latente.

CONDICIONES DE DISEÑO DEL CONDENSADOR

La performance de los condensadores de contacto directo es una compleja función de la carga de líquido y de vapor, de la concentración de gas no condensable, del gas liberado por el líquido, de la temperatura de saturación, de la presión y de la geometría. Dos parámetros principales describen su comportamiento térmico: la eficiencia térmica y el número de Jacob.

La eficiencia térmica relaciona el cambio de temperatura del agua al pasar por el condensador con la potencial de temperaturas máximo disponible: $\epsilon = (T_{as} - T_{ae}) / (T_{ve}^* - T_{ae})$

El número de Jacob describe la mínima cantidad de agua necesaria para condensar el vapor a un dado potencial de temperaturas : $Ja = L C_{pa} (T_{ve} - T_{le}) / G h_{fg}$

T_{ve} = temperatura de vapor en equilibrio con el agua a la entrada

T_{as} = temperatura del agua a la salida

T_{ae} = temperatura del agua a la entrada

L = flujo de agua

C_{pa} = calor específico del agua

G = flujo de vapor

h_{fg} = calor de vaporización del agua

La fracción de vapor condensado es el producto $\epsilon \times Ja$. La eficiencia térmica no es alta debido a la presencia mayoritaria de gases no condensables, los cuales provocan un incremento en la pérdida de presión del vapor a lo largo del condensador.

Se plantea para el diseño un valor del número de Jacob entre 1.1 y 1.2 que son los valores comunes usados en la industria química, ya que valores mayores representan un uso ineficiente del agua. Se comprueba que para valores mayores de Ja el aumento de destilado es mínimo.

La caída de presión aumenta cuadráticamente con el flujo de gas. En el caso que se estudia, donde la fracción de vapor en la mezcla es pequeña, es posible un flujo mayor que el utilizado en la experiencia del NREL en la cual el vapor es predominante. Se utiliza un valor $G = 1 \text{ kg / s m}^2$ en contracorriente.

La inundación es un limitación para los flujos en un condensador a contracorriente, porque cuando el líquido no drena apropiadamente y llena los canales del packing limita el flujo de aire y como consecuencia aumenta significativamente la caída de presión del gas.

El valor fijado de G es igual al flujo de aire en la membrana multiplicado por el número de unidades. Mientras mayor es el número de unidades de membrana propuesta por metro cuadrado de condensador, menor debe ser el flujo en cada membrana. Pero estando fijo Ja, al bajar el flujo de aire aumenta su contenido de humedad, y se debe controlar que no haya saturación pues se generaría condensación en las paredes de la membrana.

Bajo estas condiciones se realizó el cálculo de las distintas condiciones de funcionamiento del sistema para distintas longitudes de condensador propuestas, encontrándose la relación entre la longitud del condensador, el flujo de agua y el volumen necesario para condensar el producto de 1 m^2 de membrana.

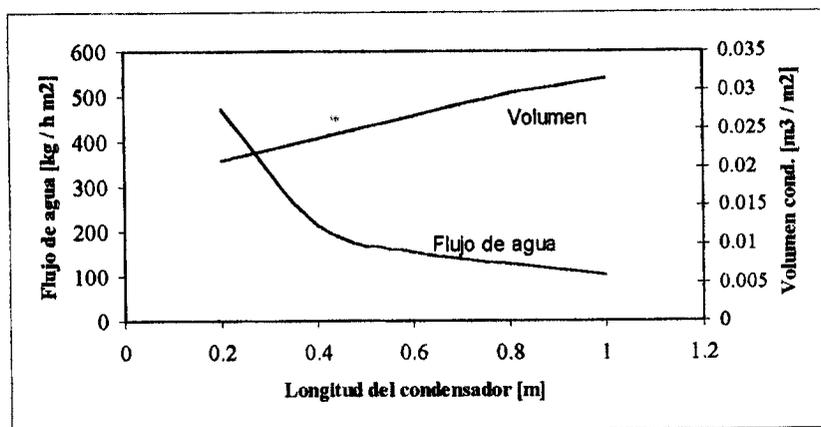


Fig. 2. Flujo de agua y volumen de condensador en función de la longitud.

La gráfica muestra el flujo de agua por metro cuadrado y el volumen de condensador necesarios por metro cuadrado de membrana en función de la longitud del intercambiador. Mientras menor es la longitud del intercambiador, mayor debe ser el flujo de agua y menor el volumen de condensador para condensar la misma cantidad de vapor de agua.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones planteadas la simulación presenta como resultado una producción promedio de $1,82 \text{ kg / s m}^2$ con una temperatura de entrada del aire en la membrana entre 27 C y 30 C y flujo de 1,5 kg / h de solución a 60 C. Este es un valor

que está dentro del rango del obtenido en ensayos de unidades similares con agua a ambos lados de la membrana [Lacoursiere, 1994].

Sin contar las pérdidas de calor al exterior, la relación entre los calores total y latente transferidos es de 1,14, lo que confirma que la condensación del vapor permeado en una superficie exterior a la membrana representa la posibilidad de una mejor recuperación del calor, lo cual juega un papel decisivo en el costo del sistema.

La condensación en contacto directo en intercambiadores del tipo de los packing estructurado permite un sistema compacto debido a su elevado coeficiente de transferencia volumétrico. Su diseño debe resolverse comparando los costos de bombeo de agua y aire con el precio del condensador, apareciendo en principio conveniente una longitud de packing no menor de 0,4 m.

BIBLIOGRAFÍA

- "Destilación con Fibras Huecas: Barrido del Vapor con Aire" M. Gea, G. Lesino. Avances en Energías Renovables. 1997
- "Destilador solar de agua con fibras huecas", Graciela Lesino, Actas XIX Reunión ASADES, Mar del Plata, 1996.
- "Direct-Contact Condensation of Low-Density Steam on Seawater at High Inlet Noncondensable Concentrations", F. Zangrando, D. Bharathan, Transactions of the ASME, Vol. 115, August, 1993.
- "Direct-Contact Condensers for Open-Cycle OTEC Applications. Model Validation with Fresh Water Experiments for Structured Packings" D. Bharathan, B. K. Parsons, J. A. Althof. National Renewable Energy Laboratory. Octubre 1988.
- "Water purification by membrane distillation", Stéphanie Lacoursière, Tesis de Master en Ingeniería, Universidad de Mc Gill, Montreal, Canadá, 1994.

ENSAYO DE UNA UNIDAD DE DESTILACIÓN POR MEMBRANA HIDROFOBA

Alejandro Hernández, Nahuel Salvo y Graciela Lesino*

INENCO, Universidad Nacional de Salta, CONICET
Calle Buenos Aires Nº 177 - (4400) - Salta
T.E. 54 - 87 - 255424 - FAX: 54 - 87 - 255489
E-mail: Alejo@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de siete ensayos efectuados con una unidad de destilación de agua con membranas hidrófobas desarrollada por la empresa **Enka Macrodyn**, cuatro en estado estacionario y tres en estado cuasi estacionario mediante un perfil escalonado en la temperatura caliente. Se comparan los resultados estacionarios con los obtenidos en otros trabajos [1] obteniéndose resultados similares. Se presenta una curva de correlación de producciones medias por hora a partir de los datos recogidos en los siete ensayos, la cual arroja un error porcentual inferior al 5 % en la simulación de las producciones totales cuasi estacionarias. Finalmente se efectúa una simulación dinámica empleando un perfil polinómico para la evolución de la temperatura caliente utilizada en la correlación de las producciones medias, resultando un valor de producción total del mismo orden de los obtenidos en los ensayos cuasi estacionarios desde el punto de vista térmico.

INTRODUCCION

El presente trabajo se enmarca en un proyecto** sobre destilación de agua a presión atmosférica con membranas, el cual tiene por objeto la evaluación técnica y económica de la aplicación de las membranas hidrófobas a la destilación de agua, efectuándose el calentamiento del agua salobre o salmuera mediante colectores solares. Una unidad similar a la ensayada fue estudiada previamente por Lacoursière (1994) [1] en condiciones de estado estacionario. En un trabajo anterior (1996) [2], los autores de éste presentaron resultados de ensayos dinámicos (con la unidad acoplada a un colector solar) realizados en el Brace Research Institute de Montreal, Canadá, empleando como salmuera una solución de ClNa al 3 % en peso y obteniendo una producción de 467 ml en 3 horas de funcionamiento continuo alrededor del mediodía, en condiciones de operación distintas a las empleadas en este trabajo.

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La unidad de membranas es del tipo fibra hueca. Consta de una carcasa de polipropileno de 2,4 cm de diámetro interno conteniendo en su interior tres fibras tubulares de polipropileno con un tamaño medio de poro de 0,2 μm y una alta fracción de huecos. La longitud disponible para la difusión del vapor es de 0,73 m. Por el interior de las tres fibras huecas circula la salmuera caliente y por fuera, en contracorriente, agua pura fría.

El equipo completo consta de la unidad de membranas, una bomba pequeña (3,5 lt/min máximo) para el circuito frío con by-pass para limitar su caudal, una cuba termostaticadora con bomba incluida (8 lt/min máximo) para el circuito caliente, dos caudalímetros de tipo flotámetro con llaves reguladoras de caudal, mangueras plásticas de 1/2" para las conexiones y una PC XT equipada con una tarjeta PCLAB 812 para la adquisición de datos de temperatura. Se monitoreó las temperaturas de entrada y salida en la membrana para cada corriente mediante cuatro termómetros LM335 conectados a la PCLAB. Todo el circuito caliente fue aislado térmicamente a fin de disminuir sus pérdidas térmicas.

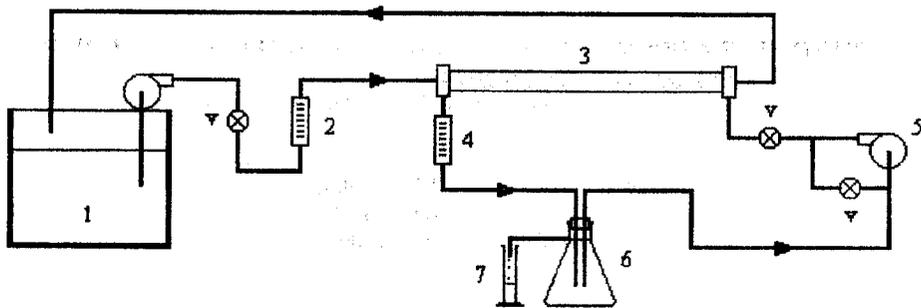
El circuito frío dispone de un recipiente de vidrio desde el cual se recoge, por rebalse, el líquido destilado en una probeta graduada. En la figura 1 se aprecia el esquema de la instalación.

EXPERIENCIAS REALIZADAS

En todos los ensayos se empleó, como alimentación del circuito caliente, una solución de ClNa al 3% en peso (30 gr de sal por litro de agua destilada). Se fijó el caudal de la salmuera caliente en 1,5 lt/min y el del agua pura del circuito frío en 2,2 lt/min. Estas condiciones de operación fueron seleccionadas de acuerdo a estudios previos [1] de manera de hacer la producción independiente de dichos flujos. Se efectuaron, en total, siete ensayos hasta la fecha, cuatro en estado estacionario y tres en estado cuasi estacionario siguiendo un perfil escalonado parabólico de calentamiento de la salmuera, como simulación de la temperatura de salida de un colector solar.

* Investigador de CONICET

** Proyecto Nº 649 del Consejo de investigación de la Universidad Nacional de Salta: **Destilación de agua a presión atmosférica con membranas.**



Referencias:

- | | |
|--|---|
| 1) Cuba termostatzadora de la salmuera | 5) Bomba del circuito frío con by-pass |
| 2) Caudalímetro del circuito caliente | 6) Recipiente de vidrio con rebalse |
| 3) Unidad de membranas | 7) Probeta para colección del agua permeada |
| 4) Caudalímetro del circuito frío | v) Válvulas reguladoras de caudal |

Figura 1: Esquema de instalación del equipo de destilación ensayado

ENSAYOS EN ESTADO ESTACIONARIO

Para caracterizar la unidad y obtener el coeficiente C que es la constante de transferencia de masa que relaciona el flujo permeado con la diferencia de presiones de vapor a través de la membrana, se realizaron cuatro experiencias en estado estacionario fijando la temperatura de la salmuera, T_c , mediante la cuba termostatzadora y permitiendo fluctuar la temperatura del circuito frío, T_f , de acuerdo al flujo de energía ganado a través de la membrana. De esta forma el salto térmico a través de ella varió a lo largo de cada experiencia y, por consiguiente, lo hizo también el flujo de destilado. En la figura 2 se comparan estas producciones frente a dicho salto térmico ($T_c - T_f$). Los símbolos rellenos corresponden a nuestra unidad y los vacíos a la de Lacoursière. Iguales símbolos (vacíos y rellenos) corresponden a igual temperatura de flujo caliente. El área a la cual se han referido los cálculos se obtuvo en función del diámetro medio entre el interior y el exterior de las membranas, considerando tres de ellas por unidad. Su valor es de $0,0482 \text{ m}^2$.

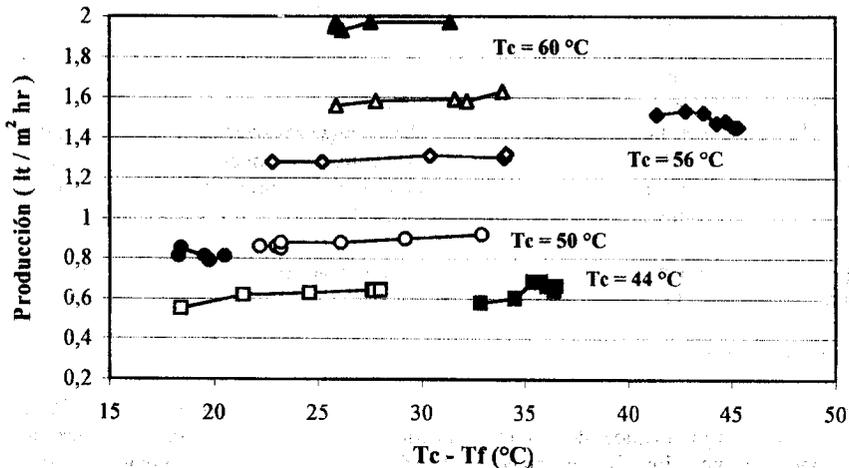


Figura 2: Comparación de flujos de destilado para distintas temperaturas de alimentación

En todas las curvas se observa que la cantidad de destilado depende más del valor de T_c que del salto térmico a través de la membrana. Esto se debe al aumento de la presión de saturación del agua al aumentar la temperatura. Se obtuvo una constante específica de membrana $C = J / \Delta P$ promedio de $(3,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}$, mientras que por cuadrados mínimos el valor de C es de $4,2 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}$, con una ordenada al origen de $-5,85 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}$ y un r^2 de 0,98. J es la producción en $\text{kg} / \text{m}^2 \text{ s}$ y ΔP la diferencia de presiones de vapor a través de la membrana, en Pa. En la tabla 1 se comparan las producciones medias en $\text{lt/m}^2 \cdot \text{hr}$ para cada valor de T_c . En la última fila se presentan los cocientes entre los valores medidos por nosotros y los medidos por Lacoursière. Salvo para $T_c=50^\circ\text{C}$, nuestra unidad produjo, en promedio, 4, 15 y 23 % más que la de Lacoursière, según la temperatura del flujo caliente.

Tc (°C)	44	50	56	60
Lacoursière	0,621	0,879	1,3	1,588
Nosotros	0,646	0,813	1,491	1,958
Cociente (N/L)	1,04	0,92	1,15	1,23

Tabla 1: Comparación de flujos medios de destilados entre nuestros valores y los de Lacoursière

ENSAYOS EN ESTADO TERMICO CUASI ESTACIONARIO

En estos 3 ensayos se modificó la temperatura del termostato a intervalos de 1 hora, de ahí la designación de cuasi estacionario. En la figura 3 se muestran los perfiles de calentamiento, en función del tiempo, aplicados a la salmuera. En la figura 4 se presentan las evoluciones temporales de las producciones de destilado por hora. En el primer ensayo la producción total fue de 485 ml, en el segundo de 467 ml (duró una hora más) y en el tercero de 452 ml.

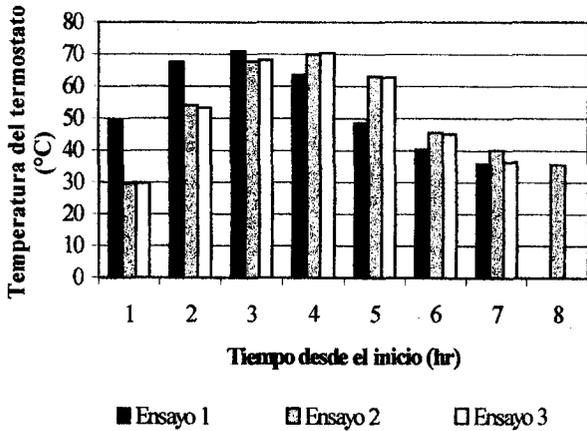


Figura 3: Evolución de la temperatura del termostato

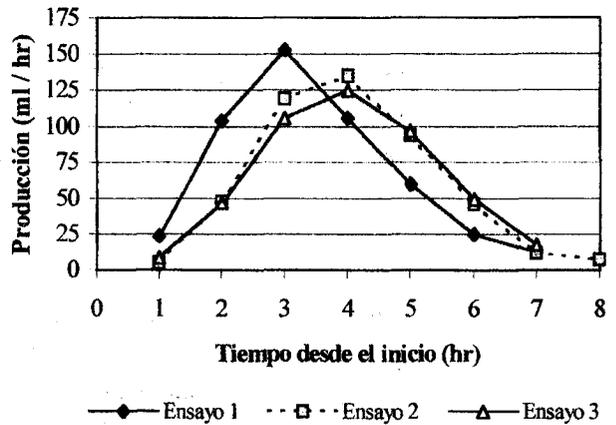


Figura 4: Evolución de las producciones horarias

A fin de comparar estos resultados con los obtenidos en las experiencias estacionarias, se procedió a promediar conjuntamente los valores de producción de los tres ensayos cuasi estacionarios para distintas temperaturas del circuito caliente (al igual que en la tabla 1). En la figura 5 se representan simultáneamente los valores promediados dinámicos, estacionarios nuestros y estacionarios de Lacoursière.

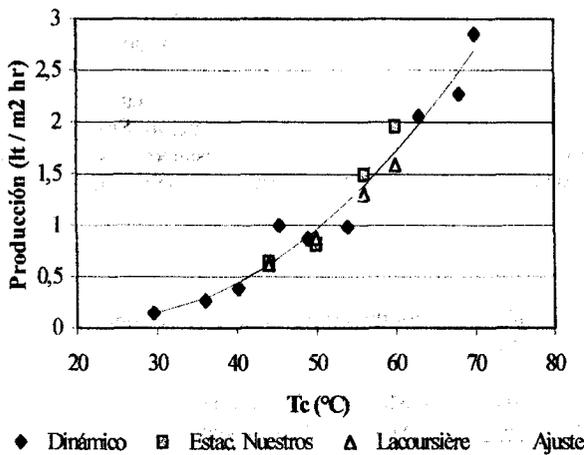


Figura 5: Comparación de valores de producción media estacionarios y cuasi estacionarios

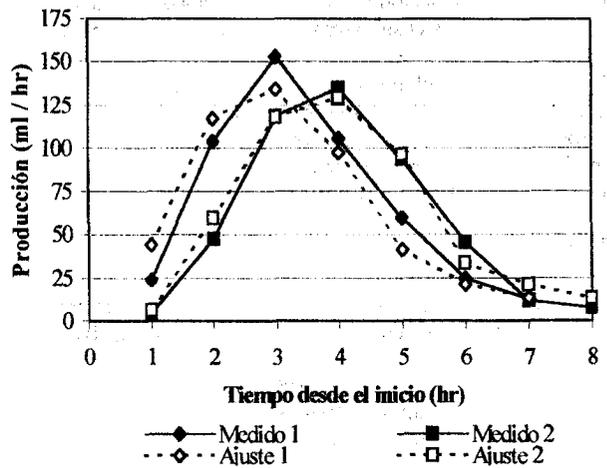


Figura 6: Comparación de producciones medida y simuladas para los ensayos 1 y 2

Según se aprecia en la figura 5, los valores conforman una nube de puntos estrecha alrededor de alguna curva de crecimiento exponencial, como era de esperar. Se observa también que los valores correspondientes a Lacoursière se encuentran sobre el borde inferior de la nube pudiendo indicar, en general, una menor producción que nuestra unidad sobre todo a altas temperaturas, comportamiento manifestado ya en la tabla 1.

La curva continua corresponde a un ajuste polinómico de orden 2 dado por la ecuación:

$$\text{Prod. (lt / m}^2 \text{ h)} = 0,00115 T_c^2 - 0,0512 T_c + 0,6391,$$

con un valor de $r^2 = 0.9625$ para la unidad ensayada. En la figura 6 se presentan las simulaciones de las producciones de los ensayos 1 y 2 empleando esta ecuación. Puede observarse que, mientras el ajuste del ensayo 1 es regular, el del 2 es muy bueno. Las producciones totales simuladas son de 472, 478 y 457 ml, lo que se traduce en errores porcentuales de 3, 2 y 1 % para los ensayos 1, 2 y 3 respectivamente.

A fin de estudiar el comportamiento de la unidad ante un régimen realmente dinámico, se simuló la evolución de T_c mediante el perfil polinómico de orden 5 representado en la figura 7 (equivalente al del ensayo 2). El paso temporal se fijó en 1 min. Aplicando este perfil de calentamiento a la ecuación de ajuste de producción, se obtuvo la curva de producción en ml / hr que figura en la misma gráfica. La producción total fue entonces de 456 ml en ocho horas de funcionamiento simulado, valor que se encuentra dentro del orden de los medidos en los ensayos.

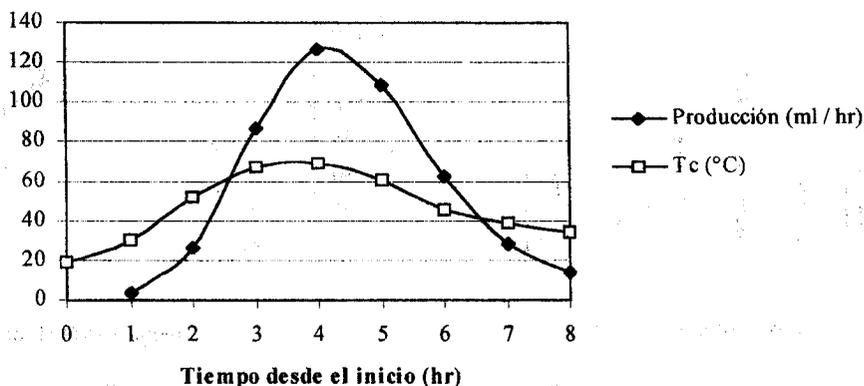


Figura 7: Simulación de producción en régimen no estacionario

CONCLUSIONES

En el caso de los ensayos cuasi estacionarios, las producciones son del orden de 0,5 lt en ocho horas de funcionamiento continuo. Esto significa una producción de aproximadamente 10 lt / día por metro cuadrado de membrana. La curva de ajuste obtenida a partir de los valores medios en ΔT de las producciones de destilado puede servir como primera aproximación para predecir las producciones totales de la unidad ensayada. Sin embargo, no debe perderse de vista el hecho de que la fuerza de la vaporización es el salto térmico a través de la membrana (no presente explícitamente en la correlación) y no sólo la T_c .

En el futuro está planeado reemplazar la cuba termostatzadora de la salmuera por un colector solar con lo cual se podrán efectuar ensayos realmente dinámicos que reemplacen a los cuasi estacionarios realizados hasta el momento. Sin embargo, estos ensayos sirvieron para obtener el orden de la producción que se puede esperar para una instalación solar. Esas mediciones permitirán dimensionar el sistema total, a efectos de compararlo. También será necesario un análisis, a través de la ecuación de difusión, del régimen transitorio.

REFERENCIAS

- [1] Lacoursière S. (1994), "Water Purification by Membrane Distillation", Thesis for the Degree of Master of Engineering, Department of Chemical Engineering, McGill University, Montreal, Canadá.
- [2] Hernández A. y Lesino G. (1996), "Ensayo de una Unidad de Destilación por Membrana Hidrófoba Acoplada a un Colector Solar. Resultados Preliminares". En Actas de la XIX Reunión de trabajo de ASADES, Tomo II, Sección 7, pag. 29 - 32, Mar del Plata, Argentina.

HIDROGÊNIO ELETROLÍTICO EÓLICO PARA AQUECIMENTO DE AMBIENTES

Maurício A. da Motta Sobrinho & Pedro A. Carvalho Rosas

Centro Brasileiro de Turbinas Eólicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco
50.740-530 – Recife – Pernambuco – Brasil

Tel.: 55 81 271-8239 Fax.: 55 81 271-8232 E-Mail: mottas@npd.ufpe.br, pean@npd.ufpe.br

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es mostrar un equipo para el corte y la soldadura de metal provisto de combustible mediante hydrogen/oxygen electrolítico, así como, estudiar su optimización, utilizando un electrolizador bipolar. Se ha observado que aumentando la concentración del electrolito, el aporte neto del sistema también creció. Ya que este aumento era insignificante, fue utilizado una concentración de NaOH de 20%, con un aumento de 66%. La calidad de la soldadura, para el material ferroso, fue mejorada mediante la adición de 50% del volumen de oxígeno. Para los materiales no ferrosos esta adición no es necesaria.

INTRODUÇÃO

A conservação de um meio ambiente saudável que possa proporcionar uma boa qualidade de vida é uma das principais metas da presente geração. O efeito estufa, a camada de ozônio, a crise energética, são fatores que nos levam a procura de novas tecnologias que sejam renováveis e limpas. A energia eólica vem surgindo como uma excelente opção para geração local de eletricidade, sendo renovável e não poluente. E seus custos de geração, para turbinas de grande porte, já estão próximos dos valores de geração hidroelétrica.

O principal problema da geração eólica é a sua intermitência e flutuação, gerando a necessidade de armazenamento. A acumulação de energia na forma de hidrogênio, possibilita o armazenamento do excesso de energia por um longo período, sendo uma forma simples e pode-se rapidamente colocar o acumulador em operação. Além desta utilização o hidrogênio pode ser um vetor para transmissão de energia, por meio de caminhões ou hidrogenodutos.

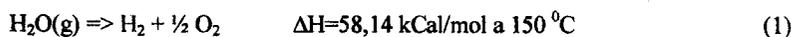
O sistema aqui apresentado é composto basicamente por um eletrolizador bipolar, uma turbina eólica e um banco de baterias. Toda energia gerada pela turbina será convertida na mistura hidrogênio/oxigênio e armazenada em uma campânula móvel com selo de água. Neste caso o banco de baterias pode ser dispensado uma vez o eletrolizador pode operar a tensões variadas. Desta forma a produção de gás flutuará linearmente da tensão com a produção de gás, conforme estabelece a Lei de Faraday. Para a implementação de um sistema eólico-hidrogênio pode-se utilizar qualquer método ou esquema técnico para a produção do hidrogênio por uma turbina, a partir da decomposição da água ou de outro elemento químico. O principal requerimento para a é que a intensidade da potência no processo seja mínima e não sejam necessários equipamentos caros e complexos. (Dobrovolski et al., 1989)

Quando comparado com sistemas elétricos de aquecimento, que geralmente utilizam resistência, este novo sistema torna-se mais vantajoso, uma vez que diminui ou elimina o uso das baterias que é um componente caro e de vida útil relativamente baixa e com maiores perdas devido a ao fluxo de energia da bateria.

Foram realizadas simulações, utilizando dados de vento coletados em Olinda (PE), cujos resultados mostraram que, o sistema composto por uma turbinas eólicas de 10 kW CA irá gerar em média, 500 l/h da mistura H₂/O₂.

ELETROLÍSE DA ÁGUA

A eletrólise da água consiste em decompor a molécula da água através da corrente elétrica contínua, produzindo o hidrogênio e o oxigênio, que são seus elementos constitutivos. Esta reação é endotérmica e pode ser representada pela equação 1 (Bockris, 1976)



Quando se aplica uma diferença de potencial entre os eletrodos, os íons H⁺ e OH⁻ irão migrar para o ânodo e cátodo respectivamente, cujos compartimentos são separados por uma membrana semi-permeável para minimizar ou evitar a mistura dos gases H₂ e O₂ que irão evoluir em cada eletrodo. Desta forma cada par de eletrodos formam uma célula eletrolítica.

A voltagem mínima para o desenvolvimento da reação é de 1,23 volts por célula eletrolítica, entretanto seria necessário que o ambiente fornecesse calor para a reação, o que só é possível na idealidade. Para que a reação ocorra é necessário que parte da energia (corrente) que atravesse a célula seja convertida em calor. A tensão necessária para tanto é de 1,47 volts.

Em uma célula perfeitamente eficiente, 94 kW são consumidos para produzir 26,5 m³ de hidrogênio, dos quais 79 kW são fornecidos como energia elétrica e o restante na forma de calor (Andrade, 1993)

Os eletrolisadores podem ser classificados como unipolar ou bipolar. Os unipolares, ou tipo tanque, se caracterizam pela associação elétrica em paralelo dos eletrodos, fazendo com que ambas as faces do eletrodo possuam a mesma polaridade. A voltagem total da célula será a mesma de um par, ou seja, 2,0 volts. Apesar de apresentar uma simplicidade do isolamento

elétrico(Ticianelli,1985), construção simples e facilidade de manutenção, não pode operar a elevada temperatura, os retificadores de corrente são de alto custo e são mais volumosos (Casper, 1978).

Nos eletrolisadores bipolares a ligação elétrica dos eletrodos é feita em série, onde a voltagem total da é dada pelo número de células. Neste arranjo, cada lado do eletrodo tem uma polaridade diferente, ocorrendo a evolução do hidrogênio em um lado e do oxigênio na outra face. Apesar de apresentar maior probabilidade de problemas de vedação, apresenta um maior rendimento elétrico (devido a baixa amperagem) e além disso, pode operar a alta pressão e temperatura e é mais compacto.(Motta Sobrinho, 1995). Devido a estas características, o eletrolisador bipolar foi escolhido para o desenvolvimento do trabalho.

ELETROLISADOR BIPOLAR

O eletrolisador tem uma potência de 2700W e é constituído basicamente por: reator eletrolítico, reservatório de eletrólito, trocador de calor, purgadores, pressostato, válvula reguladora de pressão, fonte de alimentação e selos controladores de chama.

O reator eletrolítico é formado por cinquenta células ligadas em série, onde cada célula opera a uma tensão de 1,75 v, apresentando desta forma um rendimento acima de 80%. Os eletrodos são feitos de aço 1020 e os espessadores de PVC e o conjunto possui uma inclinação de 12 graus para facilitar a saída dos gases.

No reservatório de eletrólito é onde se adiciona a água e uma solução de hidróxido de potássio para aumentar a condutividade da água. No seu interior tem-se um trocador de calor, cujo objetivo é retirar parte do calor causado principalmente pelas sobretensões dos eletrodos e resistividade do eletrólito.

No topo deste reservatório tem-se um pressostato e um regulador de pressão que tem o objetivo de manter a pressão do sistema entre 1,0 e 1,5 kgf/cm². Os selos controladores de chama reduzem a velocidade de queima do hidrogênio e lhe dá uma característica mais arredondada a chama, quando se utiliza benzina retificada, sendo mais indicada para aquecimento ou solda de metais. Caso opte-se pela utilização do álcool, a chama terá uma forma mais puntiforme sendo indicada para corte de metais. A figura 1a mostra um esquema do eletrolisador bipolar.

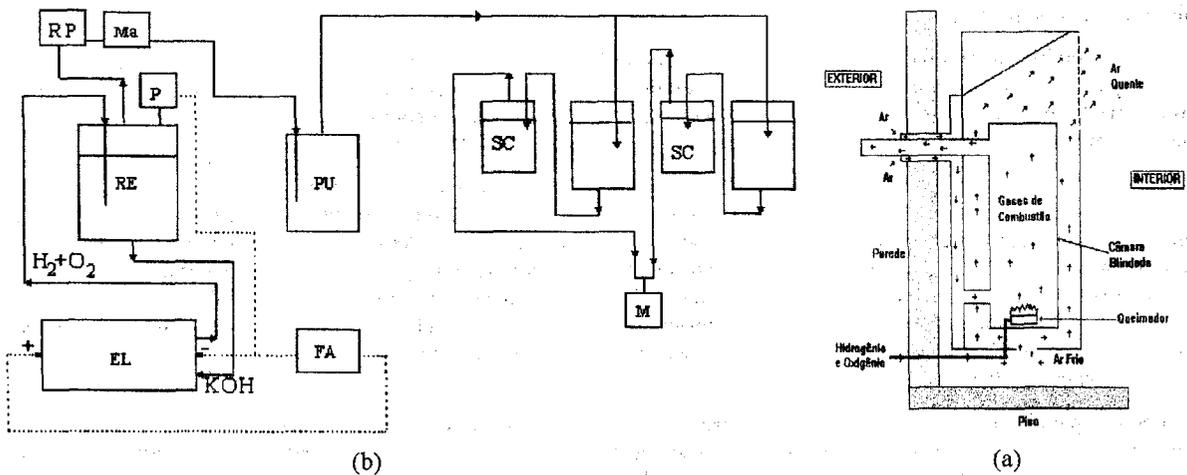


Figura 1 - Fluxograma do eletrolisador bipolar (a) e trocador de calor convectivo (b)

AQUECEDOR DE AMBIENTES

Foi utilizado um aquecedor de ambientes originalmente alimentado a GLP e modificado para o uso de hidrogênio. A figura 1.b mostra um esquema deste trocador, onde, durante a combustão do hidrogênio, o vapor de água produzido irá trocar calor com o ar do ambiente que desejamos aquecer.

O funcionamento do trocador de calor convectivo ocorre da seguinte forma: a mistura dos gases hidrogênio e oxigênio proveniente do eletrolisador são conduzidos para o trocador de calor convectivo através de uma mangueira, passando antes pelas válvulas de segurança. Na câmara blindada estes gases são queimados e o vapor de água gerado troca calor, através da parede da câmara, com o ar que do ambiente a ser aquecido que circula entre a câmara blindada e a parede externa do trocador. Ao ser aquecido este ar sobe e sai do interior do trocador, fazendo com que mais ar frio entre pela parte inferior do trocador para ser aquecido. Como pode ser observado, este processo se realiza apenas por convecção natural.

A conexão deste trocador com o eletrolisador bipolar é feita diretamente na saída do selo controlador de chama que contém benzina retificada, através de uma mangueira flexível própria para gases (como GLP).

TURBINA EÓLICA

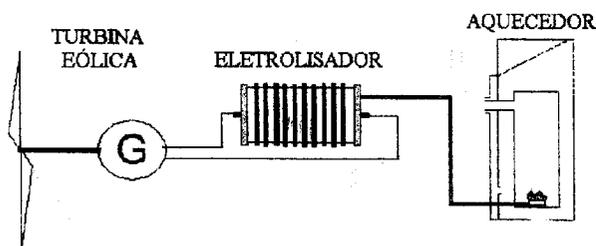
Por ser um recurso inerentemente variável e intermitente, o vento é caracterizado através de parâmetros estatísticos como velocidade média, desvio padrão, distribuição de frequência de velocidades, etc. Para se estimar a energia produzida por uma turbina eólica faz-se uso de sua curva de potência e de dados horários de velocidade de vento do local. A potência extraída do vento varia com o cubo da velocidade, assim pequenas variações de vento provocam grandes variações na potência, provocando variações na quantidade de hidrogênio produzido e no rendimento do eletrolisador.

Para a simulação foi utilizada uma turbina eólica "upwind" de 3 kW de potência nominal e diâmetro de 5 metros, fabricada pela Vergnet. Ela possui duas pás com controle de passo passivo e a orientação é feita através de um leme. A opção por turbinas como estas fez-se por sua robustez, operação automática e simplificada e facilidade de instalação.

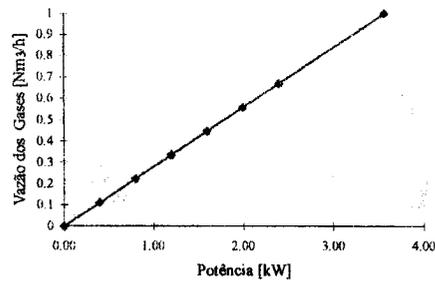
O SISTEMA

A geração eólica de hidrogênio já vem sendo estudada a bastante tempo, na União Soviética, de 1952 a 1962, foi posto em operação um sistema composto por 3 turbinas de 50 kW de capacidade cada, cuja corrente, após passar por um retificador, alimentava um eletrolisador de 140 kW, com capacidade de produção horária de 24 m³ de H₂ e 12 m³ de O₂. O hidrogênio gerado era então queimado em um motor de combustão ou utilizado para produzir vapor e acionar uma turbina (Dobrovolski et al., 1989).

A figura 2.a mostra a configuração do sistema a ser simulado. A energia cinética do vento é transformada em potência mecânica no eixo da turbina, que aciona o gerador elétrico, gerando uma corrente elétrica alternada de 230 volts. A energia gerada passa por um transformador 230/110 e por um retificador, alimentando o reator eletrolítico em corrente contínua.



(a)



(b)

Figura 2 - Configuração do sistema eólico/hidrogênio (a) e vazão dos gases em função da potência fornecida (Andrade,1993).

Entre o eletrolisador e o aquecedor há uma campânula móvel, com selo de água, que irá armazenar os gases gerados, eliminando os efeitos da flutuação da geração da energia a curto e a longo período, permitindo um acúmulo nos períodos de velocidade de vento mais elevado e assim um melhor gerenciamento da energia. O armazenamento de hidrogênio em longo período em gasômetros faz-se necessário uma aplicação de epóxi ou outro material para evitar a permeação do gás no metal. Este tipo de armazenamento possui um custo relativamente baixo quando comparado ao armazenamento em pequenos volumes (em cilindros sob pressão ou em cilindros com hidretos metálicos) que possuem um elevado custo.

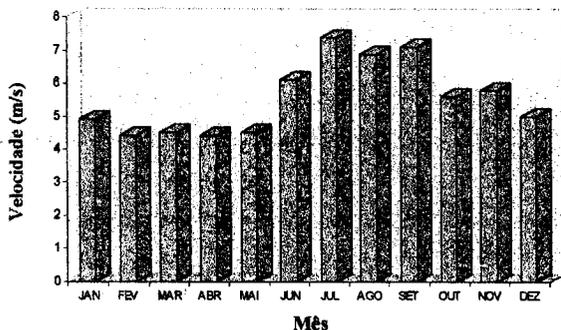
De acordo com a Lei de Faraday, a geração da mistura de gases, hidrogênio/oxigênio, é proporcional a potência fornecida. A figura 2.b mostra a relação potência fornecida versus vazão da mistura gasosa. Partindo-se desta relação e da energia fornecida pela turbina eólica pode-se estimar, em regime estático, o volume de gás produzido. O consumo do aquecedor, segundo Motta Sobrinho (1995), é de 0,85 Nm³/h, assim para aquecer um cômodo, deixando-o em condições de conforto ambiental durante os três meses de inverno, seriam necessários por ano uma produção de 530 m³ de gás, funcionando durante sete horas por dia.

SIMULAÇÃO DO SISTEMA

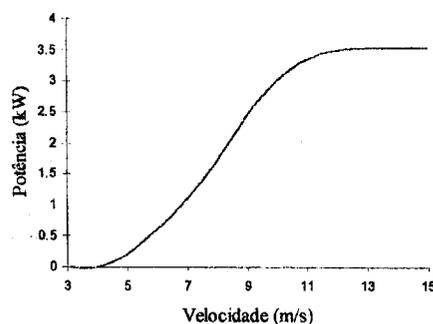
Dados de Entrada.

A simulação da capacidade de geração eólica, foi utilizado o programa HYBRID2, desenvolvido pela Universidade de Massachussets (EUA). Para se obter valores para as condições locais, foram utilizados dados de vento coletados na estação anemométrica de referência do Grupo de Energia Eólica, localizada na torre da Televisão Universitária a 120 metros de altura (para evitar a interferência de obstáculos, como edifícios).

Através da correlação com o perfil vertical de velocidade, estes dados foram ajustados para uma altura de 18m (Altura do eixo da turbina). Quando o terreno a ser implantado a turbina possui obstáculos (terreno complexo), faz-se necessário uma correção da velocidade de vento considerando-se a interação vento relevo, através de modelos ou softwares como o WASP.



(a)



(b)

Figura 3 - Velocidades médias mensais para a 120 m (a) e Curva de potência da Turbina Vergnet de 3 kW (b)

Os dados de vento são para os 365 dias do ano de 1995, e tem como média o valor de 5,57 m/s. A figura 3.a mostra as médias mensais da velocidade do vento ao longo do ano de 1995. É necessário ainda para a simulação, a curva de potência da turbina a ser utilizada. Esta relaciona a velocidade incidente no rotor da turbina com a energia produzida pela mesma. Na figura 3.b, encontra-se a curva de potência para a turbina de 3 kW a ser utilizada.

Resultados da Simulação

Utilizando-se os dados de vento para ao 365 dias do ano e a curva de potência, obteve-se um total de 23.648,03 kWh/ano. A figura 4.a mostra a energia produzida pela turbina AC entre 3500 e 6500 horas de simulação. Pode ser observado a grande variabilidade e intermitência da energia gerada.

Com este dado parte-se para um planilha para se calcular a quantidade de gás (mistura de hidrogênio e oxigênio na proporção 2:1) produzida. A figura 4.b mostra a vazão horária de hidrogênio entre 3500 e 6500 horas de simulação (período do inverno). A produção anual foi de 533 m³.

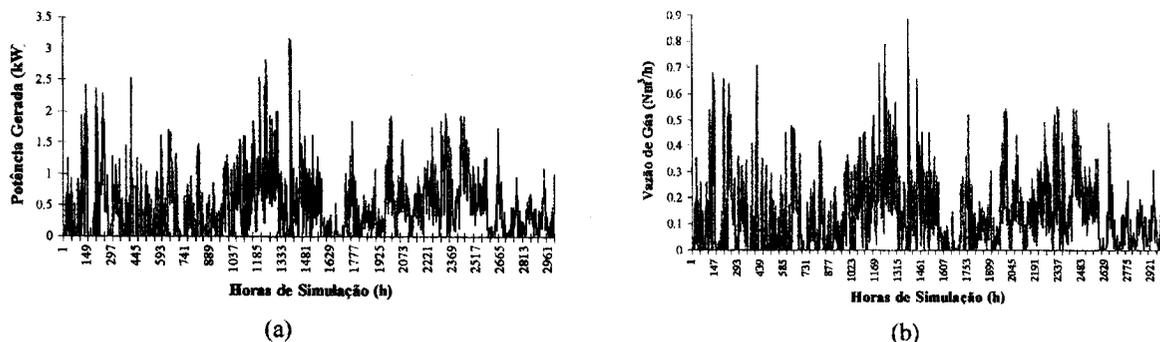


Figura 4 - Variação da energia gerada pela turbina em função do tempo (a) e vazão de gás em função do tempo (b), para o intervalo entre 3500 e 6500 horas.

Considerações sobre a Intermitência

Apesar deste sistema ter sido simulado em regime estático, o estudo em regime dinâmico divergirá muito a nível de produção dos gases. As variações da energia produzida irão afetar a pureza dos gases, caso estes sejam produzidos em separado. Dutton et al. (1996), cita em seu trabalho que variações abaixo de 2% e 1% para o hidrogênio e oxigênio, respectivamente são aceitas. Acima destes valores, os gases são liberados para a atmosfera. Variações por segundo até 80% abaixo da capacidade nominal do eletrolisador não provoca problema algum.

É importante que quando se trabalha em carga parcial deve-se verificar uma baixa na qualidade no gás produzido e na sobrecarga há necessidade da introdução de um trocador de calor para evitar sobreaquecimento.

CONCLUSÕES

Baseando-se nas simulações, pode-se verificar que o sistema apresentado dá para suprir as necessidades de aquecimento de um pequeno ambiente (ex.: um quarto de casal ou um container) durante o inverno. Os resultados podem ser melhores com um isolamento adequado do ambiente, podendo assim reduzir consideravelmente o volume de gás necessário. Apesar de se tratar de um estudo preliminar, o hidrogênio eólico mostrou-se viável para a aplicação em aquecimento. Estudos mais aprofundados estão sendo feitos no sentido de melhorar o desempenho e autonomia do sistema.

REFERÊNCIAS

- Bockris, J.O'M. (1976). Energy, The Solar-Hydrogen Alternative. The Architectural Press Ltda., Londres.
- Casper, M.S. (1978). Hydrogen Manufacture by Electrolysis, Thermal Decompositional Unusual Techniques. Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, E.U.A.
- Dobrovolski, V.A., Ryzhov, Yu. A., Sidirov, V.I. (1989). An Stand Alone mode Hydrogen Electric Power Station of 100 kW. European Wind Energy Conference, Glasgow, Scotland, UK, July 10-13.
- Dutto, A.G. et al. (1996). Electrolyser and System Operation in Wind/Hydrogen Electrolysis Systems. European Union Wind Energy Conference, Göteborg, Sweden, May 20-24.
- Motta Sobrinho, M.A. (1995). Estudo de Sistemas de Aquecimento de Ambiente utilizando Hidrogênio Eletrolítico como Combustível. Tese de Mestrado, UFPB, DEQ, Campina Grande, Paraíba, Brasil.
- Ticianelli, E.A. (1985). Sistemas Eletroquímicos de Geração e Aproveitamento de Hidrogênio, Eletrolisadores e Células Combustíveis. Fontes Alternativas de Energia, Projeto FINEP/PNUD/UNESCO, Brasil.
- Williamson Jr., K.D. & COX, K.E. (1977). Hydrogen: Its Technology and Implications. Vol. I, CRC Press, Cleveland, EUA.

**EL ENSAYO DE UN ACUMULADOR DE PIEDRAS COMO PRÁCTICO DE
 LABORATORIO DE UN CURSO DE LA MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Luis Saravia¹, Ricardo Echazú²
 INENCO³

Universidad Nacional de Salta
 Buenos Aires 177 - 4400 Salta - República Argentina
 E-Mail : echazur@ciunsa.edu.ar , FAX 54-87-255489 -

RESUMEN

Para el dictado de la Maestría en Energías Renovables en la Universidad Nacional de Salta, se pusieron en marcha una serie de actividades prácticas en laboratorio relacionadas con un curso de transferencia de calor. Una de ellas, que se describe en este trabajo es el estudio experimental de un acumulador de calor en lecho de piedras, para el que se diseñó y construyó un equipo en pequeña escala, que fue ensayado por cuatro grupos de alumnos de la maestría. Se presentan resultados con los valores obtenidos y se comparan con una simulación del sistema realizada con el programa Mathematica 2.2.

INTRODUCCIÓN

Los acumuladores de piedras se utilizan generalmente combinados con colectores de aire y sus principales aplicaciones son el acondicionamiento térmico de viviendas, invernaderos y sistemas de secado. (1), (3), (4), (5), (7)

Algunos modelos describen el calentamiento y enfriamiento de los lechos de piedras, entre ellos el de Schuman, para circulación en una sola dimensión, que considera propiedades constantes y no tiene en cuenta la conducción axial o dispersión, ni la disipación de calor al ambiente. No contempla tampoco gradientes de temperatura entre las partículas del material.

En esta condiciones, las ecuaciones diferenciales para la temperatura del fluido y del lecho son

$$(\rho C_p)_f \epsilon \partial T_f / \partial t = - (1/A) (m C_p)_s (\partial T_f / \partial x) + hv (T_b - T_f)$$

$$(\rho C_p)_b (1-\epsilon) (\partial T_b / \partial t) = hv (T_f - T_b)$$

donde ϵ es el factor de huecos del lecho y hv es el coeficiente volumétrico de transferencia de calor entre el lecho y el fluido.

En el laboratorio se ensaya el ciclo de carga de un acumulador a pequeña escala, con aire ingresando a temperatura constante y midiendo las variables de operación. Con estos datos experimentales se calculan los parámetros representativos del sistema.

EQUIPO EXPERIMENTAL

El equipo empleado, que se esquematiza en la figura 1, está compuesto por un lecho de piedras de 0.096 m³, soportado en un cajón de madera, a través del cual se impulsa aire con un ventilador tangencial. El aire se calienta por medio de resistencias eléctricas antes de ingresar al acumulador y luego sale al ambiente. En la tabla 1 se indican los valores de las constantes del sistema.

Se miden las variables de operación del equipo, durante un ciclo de carga, manteniendo, constantes la velocidad del aire de entrada al acumulador y el aporte de energía térmica de las resistencias. La temperatura inicial de la masa de piedras es uniforme y cercana a la temperatura del laboratorio.

¹ Investigador del CONICET

² Personal del Consejo de Investigación de la UNSa

³ Instituto UNSa- CONICET

Tabla 1 : Constantes del sistema.

Longitud del acumulador	0.60	m	Potencia nominal del ventilador	1/10	H.P.
Ancho del acumulador	0.40	m	Potencia nominal de las resistencias	2 x 700	W
Altura del acumulador	0.40	m	Capacidad calorífica de la piedra	950	J / Kg C
Diámetro de la cañería de entrada	0.20	m	Capacidad calorífica del aire	1007	J / Kg C
Largo de la cañería de entrada	2.00	m	Factor de forma	1.5	Adimensional

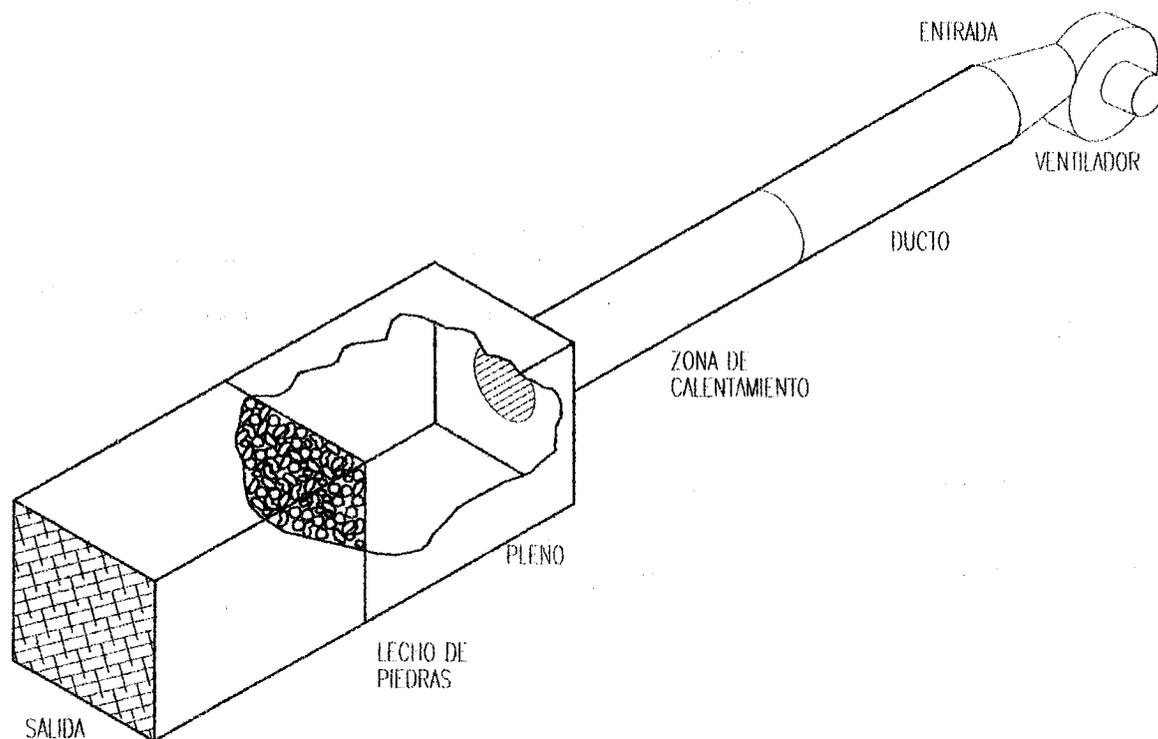


Figura 1 : Vista general del equipo.

MEDICIONES

1- Temperaturas: Se mide el perfil de temperatura en la masa de piedras, sobre el eje central, con espacios de 8.5 cm entre cada punto, con un conjunto de 8 termocuplas. Las lecturas se realizan con intervalos de 5 minutos.

2- Caudal: Con una sonda anemométrica direccional se mide la velocidad del aire en la cañería de entrada tomando puntos situados a 2 cm sobre un eje vertical y otro horizontal. Se obtiene el caudal volumétrico integrando estos valores sobre la sección de la cañería.

3- Caída de presión: se mide la caída de presión provocada por la masa de piedras y por la cañería, con un manómetro de agua de columna inclinada conectado en orificios laterales del equipo.

4- Potencia eléctrica : Con un watímetro digital se mide la potencia absorbida por las resistencias eléctricas y por el ventilador durante la operación.

5- Caracterización del relleno: Se determina el factor de huecos la densidad de la piedra y la densidad aparente del lecho, midiendo pesos y volúmenes de una muestra. Se cuentan las piedras.

Con los valores obtenidos, se sigue el procedimiento de Duffie (8) para caracterizar el material y se calcula:

El factor de huecos de la muestra, se determina pesando una muestra en un recipiente de volumen conocido V , al que se agrega agua llenado los huecos y se vuelve a pesar. Entonces se calcula : $\epsilon = m_w / (\rho_w \cdot V)$

Donde m_w es la masa de agua y ρ_w su densidad. Si la masa de piedras es m , la densidad se calcula como: $\rho_p = m / V(1 - \epsilon)$

El diámetro medio, definido como el diámetro de una esfera del mismo volumen, se obtiene como : $D = (6 m / \pi \rho_p N)^{1/3}$

Donde N es el número de piedras de la muestra.

El factor de forma α es la relación entre la superficie de cada piedra y la de una esfera de igual volumen. Se tomó un valor de 1.5 característico del material de los ríos de montaña.

Se completa entonces la tabla 2 con los valores obtenidos por uno de los grupos:

Tabla 2: Valores calculados en base a las medidas

Volumen de la muestra	$V = 0.008 \text{ m}^3$	Factor de huecos	$\epsilon = 0.425$
Factor de forma	$\alpha = 1.5$	Número de piedras de la muestra	$N = 1535$
Masa de la muestra	$m = 15 \text{ Kg}$	Diámetro medio de piedra	$D = 0.01788 \text{ m}$
Masa de agua	$m_w = 3.4 \text{ Kg}$	Caudal másico por unidad de sección	$G_0 = 0.975 \text{ Kg/s m}^2$
Densidad del agua	$\rho_w = 1000 \text{ Kg/m}^3$	Densidad del aire	$\rho_a = 1.16 \text{ Kg/m}^3$
Densidad de la piedra	$\rho_p = 3260 \text{ Kg/m}^3$	Viscosidad del aire	$\mu = 0.00001857 \text{ Kg/m s}$

La evolución de temperaturas y de energía acumulada, se presenta en las figuras 2 y 3. La energía acumulada, se graficó como porcentaje de la carga máxima posible que se obtiene con todo el acumulador a la temperatura de carga. La figura 4 muestra la evolución temporal del perfil de temperatura, obtenido por simulación.

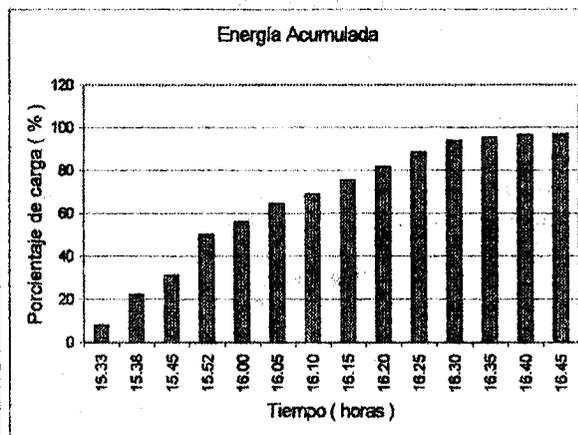
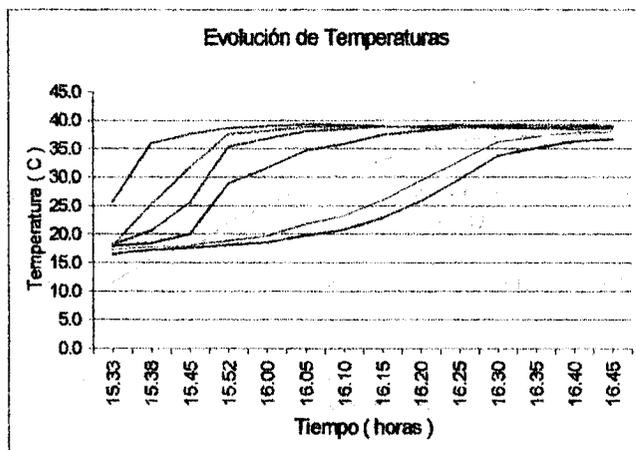


Figura 2 : Evolución temporal del perfil de temperatura

Figura 3 : Incremento de la energía acumulada en el tiempo

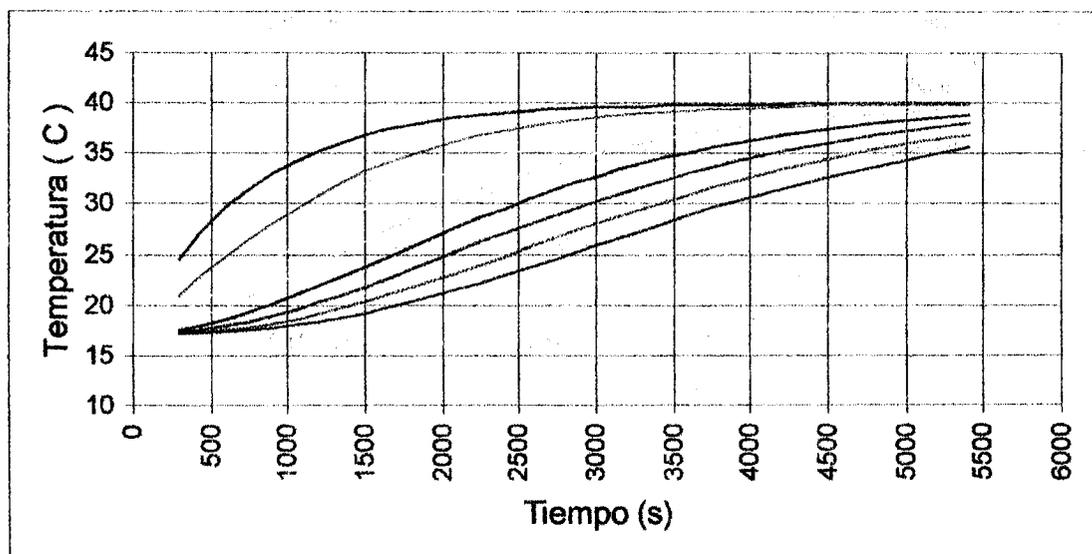


Figura 4: Evolución de temperaturas simulada.

CONCLUSIONES

Se considera que este práctico es altamente instructivo como aplicación en cursos de transferencia de calor en la enseñanza de la tecnología de las energías renovables.

Con el fin de posibilitar la realización de la experiencia en dos horas, se han elegido adecuadamente los parámetros del sistema. En particular, la velocidad del aire en la sección del acumulador es mayor que la empleada habitualmente en los acumuladores reales, para que el sistema evolucione rápidamente.

El equipo diseñado es de muy bajo costo y con instrumentos adecuados permite tomar todas las medidas necesarias para el cálculo del balance térmico del acumulador, siguiendo la evolución de temperaturas de un ciclo de carga. De este modo, en muy poco tiempo se toman datos experimentales, adquiriendo práctica con varios instrumentos, se los elabora y se los compara con valores simulados, del mismo modo en que se procede para el dimensionamiento de acumuladores a mayor escala.

Para mayor generalidad de los resultados, sería conveniente repetir las medidas con diferentes valores de velocidad del aire y otros tamaños de piedra, pero esto obligaría a dedicar un tiempo considerablemente mayor a la experiencia.

En el mencionado curso sobre transferencia de calor, se ha empleado el paquete de rutinas Ind Therm del programa Mathematica 2.2 como base de cálculo para los distintos ejercicios de transferencia conductiva, convectiva y radiativa.

Este paquete tiene una base de cálculo analítica, por lo que no puede realizar la simulación de algunos sistemas, entre los cuales se encuentran los acumuladores de piedra. El programa preparado, se puede incluir como parte del paquete aumentando su utilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- "Acondicionamiento por Vía Solar de un Sistema de Cultivo Hidropónico bajo Invernadero". Diseño y Construcción., L. Saravia, M. Quiroga, R. Echazú, C. Cadena. Actas de la 19a. Reunión de Trabajo de ASADES, Mar del Plata 1996 p.p. 01.29
- 2- " A Method of Simulating The Perfomance of a Pebble Bed Thermal Energy Storage and Recovery System " Mumma, S. D. and WC Marvin, AASME 76-HT-73 (1976)
- 3- "Construcción y Ensayo de un Secadero Solar de Tabaco": E. Frigerio, L. Saravia, I. de Paul, R. Echazú, J. Arias y D. Fernández de Ulibarri. Actas de la 6a. Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar y Ambiente, ASADES, Catamarca 1980 p.p.39
- 4- "Cultivo Hidropónico en Invernadero: Uso de Acumulador de Piedras y Malla Aluminizada para Control Térmico" L. Saravia, R. Echazú, M. Quiroga, C. Cadena, P. Robredo, S. Flores. Actas de la 20 a Reunión de ASADES, Río Cuarto, 1997. p.p. 29
- 5- " El diseño de los Acumuladores de Piedra" L. Saravia y E. Alanis. Actas de 2a. Reunión de Trabajo de ASADES. Salta 1976.
- 6- " Packet Bed Thermal Storage Models for Solar Air Heting and Cooling Systems " Huges, P.J.S.A. and Close D. Trans ASME, J. Heat Transfer 98, 336 (1976)
- 7- "Programa de Secado Solar de Tabaco: Segunda Fase": L. Saravia E. Frigerio, I. de Paul y R. Echazú. Actas de 7a. Reunión de Trabajo de ASADES. Rosario 1981. p.p. 11
- 8- " Solar Engineering of Thermal Processes " J. Duffie and W. Beckman. John Wiley & Sons N. York 1991

DESARROLLO DE UN PLAN DE EDUCACIÓN AMBIENTAL EN EL NIVEL INICIAL, PRIMERO Y SEGUNDO CICLO DE EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA¹

Patricia Robredo²
INENCO-Facultad de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177 - 4400 Salta

Aurea V. de Del Monte³
Instituto Verbum
España 836 - 4400 Salta

RESUMEN

Para lograr la conservación del Ambiente, es imprescindible que cada generación asuma una completa responsabilidad como preservadora del Ambiente para generaciones futuras (1), por lo tanto que debe implementarse una correcta política de gestión de residuos, ya que éstos, en particular los urbanos, constituyen, en muchos casos, problemas no resueltos o resueltos en una forma precaria.

Desde esta óptica, se plantea la posibilidad de evaluar la cantidad de residuos producidos en un establecimiento educativo como una de las maneras más directas para que los alumnos adquieran conciencia del problema que los residuos generan.

El Proyecto descrito en el presente trabajo se realizó en Establecimiento Educativo Privado. En él participaron integralmente todos los miembros del establecimiento, como así también familiares de los alumnos. Además, parte de las actividades desarrolladas estuvieron dirigidas a la población en general, tratando de lograr su reflexión sobre los problemas causados por los residuos.

ANTECEDENTES

Desde 1969, año en que en Estados Unidos se sancionó "The National Environmental Policy Act", se produjo un gran cambio en los criterios de evaluación de los diversos proyectos; puede decirse que la sanción de esta sola ley, ha conducido a establecer pautas de protección del Ambiente en más de 75 países (1), entre ellos los de la Comunidad Europea, que establecieron programas de acción a ser desarrollados en las comunidades para proteger el Medio Ambiente. Sin embargo, desde 1973 (2) se ha modificado el enfoque de dichos programas, tratando de cambiar una política meramente reparadora de los daños ya causados, por una acción global netamente preventiva y que cubra todos los aspectos relativos a la protección del Medio Ambiente. Esta tendencia también se manifiesta en nuestro país, donde diversos sectores, públicos y privados, se abocan a llevar a cabo actividades preventivas y correctivas que mejoren la calidad de vida de la población.

En la ciudad de Salta existen algunas experiencias (2) que indican, que gran parte de la población, no conoce los problemas causados por los residuos, ya que considera que los problemas de contaminación son de magnitud considerable en otros países, pero no en nuestra ciudad. Sin embargo, al ser informados, reaccionan positivamente. Estas experiencias indican que los niños y especialmente los más pequeños, son las personas que mayor interés manifiestan por la protección del Ambiente. Por otro lado, este aspecto es también considerado relevante en la Ley Federal de Educación.

Para lograr la conservación del Ambiente, es imprescindible que, cada generación tenga una completa responsabilidad como preservadora del Ambiente para generaciones futuras (1), por lo tanto es necesario un cambio de actitud, en particular en lo referido a los residuos. Para lograrlo, debe implementarse una correcta política de gestión de residuos, ya que éstos, en particular los urbanos, constituyen, en muchos casos, problemas no resueltos o resueltos en una forma precaria.

La política de gestión de residuos estipula las siguientes líneas básicas:

- Prevención de la producción
- Reutilización
- Reciclado
- Ejecución de acciones reparadoras para corregir problemas actuales

Desde esta óptica, se plantea la posibilidad de evaluar la cantidad de residuos producidos en un establecimiento educativo como una de las maneras más directas para que los alumnos adquieran conciencia del problema que los residuos generan, pues es común no tener una clara idea de la cantidad de basura producida en una comunidad.

El Proyecto descrito en el presente trabajo se realizó en el INSTITUTO VERBUM, un Establecimiento Educativo Privado de nuestro medio, conjuntamente con integrantes del Proyecto de Investigación 642 del Consejo de Investigación de

¹ Proyecto financiado por el Consejo de Investigación de la UNSa

² Facultad de Ciencias Exactas, Consejo de Investigación. Universidad Nacional de Salta

³ Docente del Instituto Verbum

la Universidad Nacional de Salta. En él participaron integralmente todos los miembros del establecimiento, como así también familiares de los alumnos. Además, parte de las actividades desarrolladas estuvieron dirigidas a la población en general, tratando de lograr su reflexión sobre los problemas causados por los residuos.

Dicho Proyecto fue denominado "**Y con la basura ¿ qué hacemos?**" siendo los objetivos planteados los siguientes:

Objetivos

A: Determinar la cantidad media de residuos producida en el Establecimiento.

B: Lograr que los alumnos tomen conciencia de los problemas causados por los residuos.

C : Lograr la activa participación de los alumnos en un plan de educación destinado a la comunidad en general, comenzando en el establecimiento.

D: Contribuir a la protección del medio ambiente mediante la reducción, reciclado y reutilización de los residuos producidos en el establecimiento.

MÉTODO DE TRABAJO

Plan de Trabajo

Se desarrolló un plan de trabajo que constó de varias etapas. En la primera (durante una semana), se obtuvieron datos sobre la cantidad de residuos producidos por alumno diariamente en el Establecimiento.

Estos datos sirvieron de base para iniciar la segunda etapa, que consistió en jornadas de reflexión sobre quehaceres humanos que promueven el deterioro o el cuidado del Ambiente; se analizaron los distintos materiales usados por el hombre y se identificaron los factores físicos y químicos contaminantes del Ambiente. Considerando los Contenidos Básicos Comunes para la Educación General Básica y que la finalidad de la Educación es facilitar la comprensión del mundo y la relación con él mediante el acceso a distintos saberes, se impartieron algunas charlas informativas a docentes y alumnos del Establecimiento y se propusieron una serie de actividades. A partir de esto, se confeccionó el plan de trabajo, integrando distintas áreas. Mediante las actividades desarrolladas los alumnos tomaron conciencia de su papel protagónico en la protección del ambiente.

La tercera etapa comprendió un día de Integración de Actividades, en el cual los alumnos del Instituto relataron sus experiencias , expusieron sus conclusiones y mostraron los trabajos realizados, realizando con posterioridad una exposición pública.

La cuarta etapa fue idéntica a la primera , llevándose a cabo un mes después, como una herramienta que contribuye a evaluar la efectividad del Proyecto, ya que indicaría un cambio de actitud por parte de los alumnos.

En primer lugar se desarrollaron tareas para cumplir el Objetivo A.

Obtención de datos

Se trabajó durante dos períodos de tiempo, de una semana de clases cada uno, en la cual se pesaron diariamente los residuos producidos en las aulas, como así también en los patios y en las secciones de Administración, Dirección y Maestranza, colocándose cestos en cada uno de los sitios nombrados. Al final de cada día los residuos fueron pesados y clasificados, determinando los porcentajes de papel, plástico, vidrio, metal, orgánico y otras fracciones, datos necesarios para sugerir alternativas de reciclado, reutilización y/o minimización. La segunda determinación, concretada un mes después, sirvió para comprobar si se produjeron menos residuos, evaluando así la efectividad de las actividades llevadas a cabo.

Desarrollo de actividades

Posteriormente se desarrollaron actividades para cumplir los objetivos B, C y D.

Participaron las docentes de Nivel Inicial, y las de las áreas de Lengua, Matemática e Inglés desde 1^º a 6^º Año, como así también las de Arte, Religión , Educación Física y Música.

*** Actividades Nivel Inicial**

Trabajaron niños de las salas de 4 y 5 años, apoyados por sus familias, bajo el lema "**Ensuciemos menos**".

Implementando el reuso de materiales, confeccionaron láminas indicando los sitios correctos e incorrectos donde disponer residuos, destacando la necesidad de no contaminar ríos, paseos públicos, calles, etc, a fin de lograr una mejor calidad de vida.

Realizaron paseos por la vía pública, portando chalecos con mensajes ecológicos impresos, realizados en colaboración con los padres.

*** Actividades E.G.B. : Primer Ciclo.**

El tema de trabajo se denominó "**Vamos a reciclar**" y se desarrolló en dos jornadas destinadas a reutilizar y reciclar diversos residuos colectados por los alumnos. Estas tareas fueron llevadas a cabo por los alumnos de 1^º y 2^º año, que contaron con la

colaboración de sus familias. Los materiales reusados y reciclados fueron componentes habituales de los residuos, detectados en el Instituto en la etapa I ya mencionada. Entre otros: latas de gaseosas, botellas plásticas, bandejas de telgopor, papeles, etc. Con ellos se confeccionaron carameros, cuadros, portarretratos, portamacetas, muñecos, alhajeros, adornos navideños y otros. Es de destacar que al reciclar materiales se tuvo la precaución de confeccionar objetos sin que los otros materiales usados incrementaran la cantidad de desperdicios producidos o fueran aún más contaminantes que elementos reciclados.

En los recreos de estas jornadas pudieron escucharse canciones alusivas a temas ecológicos, dirigidas por la docente de Música.

Los alumnos de 3º año centraron sus actividades en la clasificación de residuos, destacando el concepto de que para reutilizar y reciclar es necesario primero clasificar los residuos. Mediante investigaciones bibliográficas establecieron distintos sistemas de clasificación de residuos. Luego confeccionaron láminas y afiches donde se representaban contenedores a ser usados en un sistema de recolección de residuos que contemple la clasificación.

Otro aspecto que también se encaró fue el de la educación a los automovilistas, a quienes se les entregaron tarjetas conteniendo mensajes haciendo referencia a la necesidad de no contaminar la ciudad. Estos mensajes fueron confeccionados con la asistencia de la docente de Inglés y fueron entregados por los niños de 1º y 2º Año en una esquina céntrica a los automovilistas.

*** Actividades E.G.B. : Segundo Ciclo.**

Los alumnos de 4º Año iniciaron una revisión bibliográfica para determinar las causas de contaminación de aire, suelo y agua, con particular referencia a la situación en nuestra provincia. Con respecto a los residuos sólidos, analizaron los problemas ocasionados por los desechos industriales y hospitalarios, haciendo particular referencia a nuestra ciudad. Confeccionaron afiches sobre tiempos de descomposición de los desechos y formas de disponerlos diferenciadamente, destacando los inconvenientes causados por plásticos y materiales descartables.

Los alumnos de 4º y 5º Año integraron las áreas de Ciencias Naturales, Arte, Lengua, Matemática, Ciencias Sociales, Computación, considerando como idea central "Nuestra contribución a la protección del Ambiente". Enfocaron los siguientes aspectos :

- Cómo embellecer nuestra provincia
- Cómo cuidar nuestra salud
- Cómo preservar nuestra ciudad para las otras generaciones

Se analizó la posibilidad de reciclar papel, destacando los ahorros en materia prima y energía. Con los datos de producción de residuos del Instituto, se confeccionaron afiches con gráficos estadísticos, destacando la producción de desechos de papel.. Luego se analizaron los problemas de contaminación a largo plazo como así también la posibilidad de transmisión de enfermedades y de proliferación de alimañas. Las conclusiones se mostraron en afiches.

En el área de Inglés se trabajó con sistemas de tratamiento de residuos en E.E.U.U., confeccionando afiches con vocabulario específico.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cantidad de residuos:

La tabla muestra la evolución de la cantidad de residuos por alumno diariamente.

El valor correspondiente a cada aula (año) corresponde al promedio de una semana.

En el caso de Patios y Maestranza se indican los valores totales de cada día.

No se obtuvieron valores referidos a Administración ni Dirección.

Dependencia	Primera determinación (gramos/alumno día)	Segunda determinación (gramos/alumno día)
Nivel inicial	17,7	5,4
Primer año	20,5	15,1
Segundo año	35,3	6,8
Tercer año	20,1	10,1
Cuarto año	16,5	4,,1
Quinto año	22,0	14,3
Sexto año	17,5	13,3
Patios	567,8	593,9
Maestranza	633,4	495,2

Actividades propuestas:

Las actividades propuestas conjuntamente por docentes y alumnos fueron concretadas en forma entusiasta, mostrando los alumnos gran interés en participar en campañas de concientización destinadas al público en general. Se transmitió el concepto que el Ambiente es el conjunto de cosas y condiciones que rodean a todo lo viviente y no viviente, generando la actitud de compromiso correspondiente. Los trabajos elaborados por cada grupo de alumnos fueron adecuadamente integrados con los del resto del Instituto. También se logró la integración de las familias y la motivación del público en general.

Evaluación del proyecto

Se considera que las tareas desarrolladas fueron adecuadas y positivas, cumpliéndose los objetivos propuestos, los que se seleccionaron considerando los Contenidos Básicos Comunes para la Educación General Básica. Los alumnos, al menos durante el período que duró el Proyecto, intensificaron su cuidado por el Ambiente, haciendo partícipes a sus familias y llamando la atención de la comunidad en general.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se considera que el programa propuesto fue adecuado para los niveles considerados. Las tareas seleccionadas estuvieron acorde a las posibilidades de los alumnos, despertando su interés.

Se logró la amplia participación de los alumnos y de sus familiares. Sus propuestas fueron favorablemente acogidas por la comunidad, por lo que debería continuarse con tareas de este tipo.

Si bien el Plan sólo se desarrolló por un período corto de tiempo, durante el mismo se logró disminuir la cantidad de residuos, contribuyendo claramente a la preservación del ambiente. Esto daría la pauta que con planes semejantes, adecuados a las posibilidades de cada Institución, es posible generar cambios que permitan una mejor preservación del Ambiente. Se debería continuar la evaluación en períodos posteriores, considerando además otras variables, para hacer los ajustes necesarios que finalmente conduzcan a una definitiva minimización de residuos.

El material elaborado por los alumnos permitirá la confección de guías didácticas que podrían ser usadas en años siguientes, en los temas de educación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

1. Environmental Impact Assessment. L.W. Canter. Mc Graw Hill.1996.
2. Environmental Impact Assessment. P.A. Erickson. Academic Press.1994.
3. VII Curso de Ingeniería Ambiental. Legislación sobre los Residuos Sólidos Urbanos. Sevilla. España. 1991.
4. Muestreo de Residuos Municipales clasificados. G. Plaza, O.Pacheco, P.Robredo y A. Saravia Toledo. Reunión Nacional de ASADES.1994.

El presente trabajo fue dirigido por las autoras y desarrollado por el cuerpo docente del Instituto Verbum:

M. S. de Villagra, S. U. de Fachín, A. Bubbolini, A. L. de Herrero, K. Bubbolini, V. Cristoff, P. L. de Guizzo, A. C. de Mateo, C. Ulivarri, S. Dip, S. Ulloa, L. U. de Isola, N. Q. De Torino, L. M. de Dahas, Liliana U. de Martínez, E. Marcuzzi.

CAPACITACIÓN DOCENTE EN RESIDUOS Y EL AMBIENTE APLICADA A UN PROYECTO CURRICULAR INSTITUCIONAL

Gloria Plaza*, Osvaldo Pacheco*, Elsa Scaroni, M. Rita Marteatrena****

INENCO - CIUNSa - * Fac. de Ingeniería - ** Fac. Ciencias Exactas

Universidad Nacional de Salta

Avda. Bolivia 5150.

CP 4400. Salta. Argentina

Email: gloria@ciunsa.edu.ar

Fax: 087 - 255489 - Tel: 087 - 255424

RESUMEN

Se desarrolla la capacitación de los docentes en la temática de "Residuos, contaminación y preservación del Ambiente", aplicando la experiencia científica adquirida. Los contenidos conceptuales abordados constituyen un importante aporte en la currícula, especialmente en el área de Tecnología.

La capacitación tiene por objetivo formar docentes competentes de manera de proyectar en sus alumnos acciones para reconocer las situaciones problemáticas ambientales de su realidad y propiciar las respuestas alternativas para comprenderlas y/o transformarlas.

En los cursos implementados en la ciudad y el interior de la provincia de Salta, aprobaron a la fecha alrededor de cuatrocientos docentes en los niveles de EGB y Educación Polimodal. La metodología utilizada, aula taller y visitas técnicas, así como el material didáctico aportado, fue valorizado por los docentes como una herramienta importante para la enseñanza, como lo demuestra las encuestas realizadas.

Se propone un Proyecto Curricular Institucional resultante de la capacitación desarrollada, para ser evaluado como experiencia piloto en el área de Tecnología.

Palabras claves:

Residuos, ambiente, capacitación, tecnología.

INTRODUCCIÓN

Los Contenidos Básicos Comunes (CBC) forman parte de los acuerdos federales para la transformación curricular y constituyen la definición del conjunto de saberes relevantes que integrarán el proceso de enseñanza de todo el país (Ley Federal de Educación, 1993).

Se reconocen tres niveles de especificación, nacional, jurisdiccional e institucional. En este sentido, los CBC constituyen el primer nivel de concreción de este proceso: nivel nacional concensuado en un marco federal. El segundo nivel de concreción implica contextualizar las orientaciones y criterios para garantizar que, en todo diseño curricular jurisdiccional estén presentes los CBC. El tercer nivel de concreción implica la formulación de un proyecto curricular institucional (PCI) que garantice y enriquezca lo establecido en el primero y en el segundo nivel, y que impulse, a su vez, su evaluación y revisión permanente (Resoluc. 37, Consejo Federal de Cultura y Educación. 1994).

El PCI está conformado por nueve Capítulos o áreas de estudio: Lengua, Matemáticas, Ciencias Naturales, Ciencias Sociales, Tecnología, Educación Artística, Educación Física, Formación Ética y Ciudadana y Humanidades (L. Doval, A. Gay. Tecnología. Finalidad educativa y acercamiento didáctico. 1.996. - L. Doval. Tecnología. Estrategia Didáctica. 1.998

Dentro del PCI, se aborda el desarrollo de la temática Residuos y el Ambiente en el Área de Tecnología, ya que es necesario reflexionar sobre los impactos que las actividades tecnológicas provocan en el ambiente y sobre las relaciones entre tecnología y sociedad.

Se considera la transversalidad del tema ambiental en el área de Tecnología, teniendo en cuenta que una clase de tecnología debe tener como objetivo principal el de estimular a los estudiantes en adquirir una cultura del hacer, favoreciendo las capacidades de trabajo en equipo y la superación de obstáculos.

La generación de residuos es característica de una región, siendo necesario una investigación local, que involucre el diagnóstico, desarrollo tecnológico e implementación. En el Instituto de Energía no Convencional se desarrollaron trabajos de investigación, los que fueron considerados en los contenidos conceptuales de la capacitación (5 al 12: G. Plaza et al. Muestreo de residuos municipales clasificados. 1994 - G. Plaza et al. Residuos en el Valle de Lerma. 1996 - M. Martearena, et al. 1996 - G. Plaza. 1996 - M. Castañeda et al. 1996 - G. Plaza et al. Anaerobic treatment of municipal solid waste. 1996. - G. Plaza et al. 1997 - O. Pacheco et al. 1997)

Con el aval del Ministerio de Educación de la Provincia de Salta, se dictaron los Cursos de Capacitación Docente en el tema "Residuos y el Ambiente", en Salta Capital y en el interior de la provincia, con el propósito de formar docentes competentes (críticos, informados y transformadores) (L. Doval. 1.998). El presente trabajo analiza los resultados allí alcanzados, y a partir de esta experiencia, se desarrolla una propuesta de un Proyecto Curricular Institucional con el interés de integrar la escuela al medio donde está inserta de modo que genere un factor multiplicador y de transformación en la sociedad.

RESIDUOS, CONTAMINACIÓN Y PRESERVACIÓN DEL AMBIENTE

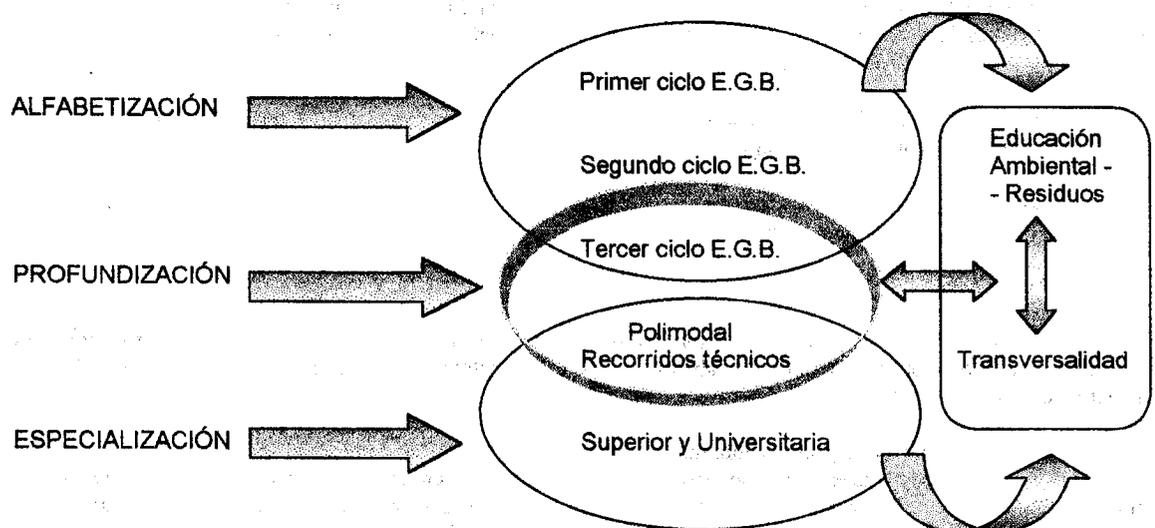
De los trabajos de diagnóstico realizados en el marco de los proyectos 415, 601 y 671 del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta, se conoce la problemática regional ambiental ocasionada por la generación de residuos. Esta situación dio lugar al desarrollo de diversas investigaciones para plantear soluciones de minimización y/o remediación. Así, el grupo de investigación ha desarrollado y/o adaptado dentro de la realidad regional, distintas alternativas tecnológicas de solución (5 al 12).

Los grados de complejidad para abordar los contenidos de "Residuos, contaminación y preservación del ambiente", como así también el método propio de Tecnología (Análisis de Producto y Proyectos Tecnológicos), pueden ser evaluados teniendo en cuenta los criterios de cercanía y aquellos que tengan en cuenta la complejidad organizada.

METODOLOGÍA DE LA CAPACITACIÓN DESARROLLADA

La educación tecnológica aborda sus contenidos en tres niveles de acceso (L. Doval, A. Gay. 1.996):

- Nivel de alfabetización: permite al alumno operar integradamente con el medio ambiente y la tecnología, para que sea un consumidor crítico
- Nivel de profundización: se amplía la cultura tecnológica y se sistematizan caminos tecnológicos específicos
- Nivel de especialización: desarrollo de aspectos generales y particulares de cada tecnología



La temática Residuos y el Ambiente abordada en el tercer ciclo de EGB y Polimodal, está íntegramente relacionada con los tres niveles de acceso a la educación tecnológica, razón por la que merece un tratamiento particular.

Para el desarrollo de la propuesta de capacitación se utilizaron los métodos tradicional y activo según los temas abordados. El método tradicional se aplicó fundamentalmente en el desarrollo de los núcleos conceptuales a través de la presentación de los contenidos con el apoyo de recursos didácticos (retroproyector, video, proyector de diapositivas). El método activo se aplicó en el desarrollo del aula taller a través de resolución de problemas, recolección de datos, experiencias y visitas técnicas (Planta de Tratamiento de Residuos Cloacales y Planta de Disposición de Residuos Sólidos).

Se abordó la temática ambiental en el marco de la transversalidad en el área de Tecnología contemplando el mínimo impacto en el ambiente. Para ello, se analizaron los aspectos tecnológicos que demanda la región para desarrollarla en forma sostenida. Se confeccionó un material bibliográfico para cubrir los distintos núcleos conceptuales que permiten abordar los contenidos de manera global, en el contexto de un problema en función del cual se articula (G.Plaza et al. Apuntes Curso Residuos, Contaminación y Preservación del Ambiente. 1997).

El temario desarrollado comprende: residuos y el ambiente, aspectos legales, diagnóstico de la producción de residuos, el estudio del impacto ambiental, clasificación de los residuos, residuos domiciliarios, residuos peligrosos, minimización de la generación de residuos, reciclaje, tratamiento y/o disposición y fracción orgánica municipal, biomasa y su aprovechamiento energético (G.Plaza et al. Apuntes Curso Residuos, Contaminación y Preservación del Ambiente. 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los cursos de capacitación docente "Residuos, Contaminación y Preservación del Ambiente", dictados en Salta Capital y en el interior de la provincia, fueron capacitados 250 y 150 docentes respectivamente.

Para evaluar la capacitación desarrollada se realizó una encuesta a los participantes de los cursos. Los ítems considerados fueron duración y organización del curso, emplazamiento y características del lugar, desempeño de los capacitadores, además de los ítems de mayor interés, que se presentan a continuación:

La capacitación fue abordada adecuadamente según muestra los resultados de la encuesta realizada a los participantes. Asimismo sus expectativas fueron satisfechas ampliamente (Figuras 1 y 2).

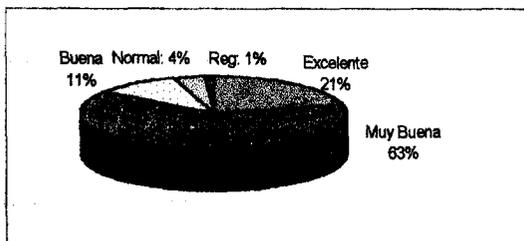


Figura 1: ¿Expectativas Satisfechas?

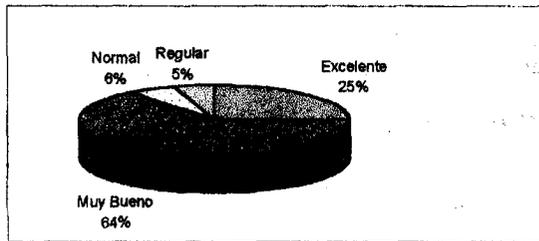


Figura 2: Nivel de Temas Abordados

El material didáctico significó un valioso aporte para los participantes (Figura 3). La relación teórico - práctico fue la adecuada según el porcentaje encuestado (Figura 4). El 98% de los docentes participantes, expresaron que las visitas técnicas y el desarrollo del aula taller contribuyeron positivamente en el dictado, comprensión y posterior trabajo en aula.

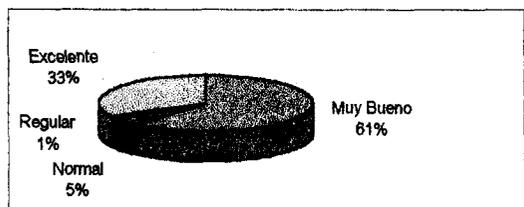


Figura 3: Material didáctico recibido

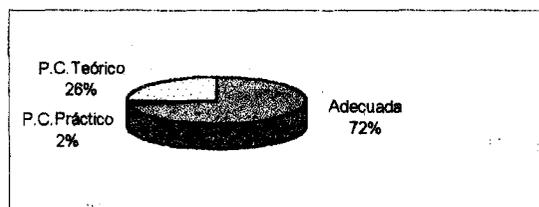


Figura 4: Relación Teórico-Práctica

Un 93 % de los docentes manifestó su interés en continuar la capacitación en la temática para configurar una Educación Tecnológica consistente. Para ello, se propone como contenido en futuros cursos los siguientes puntos: Residuos y el Ambiente, Tecnologías Limpias, Agroindustrias Regionales, Aspectos Gestionales y Dinámica del Mercado dentro del marco de la sustentabilidad.

La interacción capacitador capacitante, dio lugar al desarrollo de un Proyecto Curricular Institucional Piloto que fuera demandado por todos los docentes participantes. El mismo se elabora según el grado de complejidad propio de cada nivel.

RESIDUOS Y EL AMBIENTE EN EL PROYECTO CURRICULAR DE UNA INSTITUCIÓN PARA EL TERCER CICLO DE EGB Y EDUCACIÓN POLIMODAL

Los grados de complejidad para diferenciar los distintos niveles educativos del 3º ciclo de la EGB y Educación Polimodal, revisten trascendencia, por cuanto permiten avanzar en situaciones problemáticas ambientales con un pequeño número de variables en el 7º año de EGB, hacia situaciones problemáticas ambientales con un mayor número de variables en el tercer año de EP. Con estas pautas se diseña el tema Residuos y el Ambiente para el área de Tecnología dentro del Proyecto Curricular que puede aplicarse en una Institución.

Los contenidos mínimos propuestos para los distintos niveles educativos considerados en el presente trabajo, se muestran a continuación:

7º año: Los alumnos orientados por el docente desarrollarán una observación sistemática del medio ambiente tecnológico que los rodea, identificando problemas ambientales derivados de los procesos y los productos tecnológicos que en este medio operan, precisando los residuos que se generan por la actividad en estudio. Del análisis desarrollado procurarán instrumentar soluciones inicialmente reparadoras pero progresivamente preventivas.

8º año: Se propiciará la comprensión de la producción a escala de productos tecnológicos complejos, considerando que uno de los productos involucrados en el todo es la calidad de vida influenciada por la generación de residuos.

9º año: Se planteará un problema ambiental regional concreto, permitiendo a los alumnos poner en acción procesos creativos orientados a la adquisición de competencias tecnológicas de preservación, remediación y gestión con un grado mayor de especificidad. Las actividades desarrolladas promoverán distintas formas de observar la realidad y actuar en consecuencia.

1º año EP: Se evaluarán los recursos disponibles en el marco socio cultural de la región, para enfrentar los procesos de globalización, dumping, mano de obra barata, nuevos procesos productivos, y los sistemas de gestión ambiental.

2º año EP: Se evaluarán los problemas regionales actuales y futuros productivos, educativos, ambientales y culturales. La implementación y adaptación de nuevas tecnologías y sus productos en la región, generarán efectos negativos y positivos que necesitarán ser evaluadas. Se analizará la viabilidad de las mismas y el impacto que generan.

3º año EP: Los alumnos analizarán y reformularán las propuestas generadas en los años anteriores evaluando oferta y demanda de productos e insumos. Evaluarán tamaños y emplazamientos productivos. Analizarán las tecnologías y el impacto ambiental que sus procesos productivos generan. Establecerán los costos, beneficios y las proyecciones económicos ambientales.

Este modelo debe ser adaptado y evaluado para ser implementado en una Institución Educativa Regional, la que recibirá el permanente asesoramiento y seguimiento del grupo de investigación.

CONCLUSIONES

- La capacitación docente desarrollada fue masivamente aceptada y demandada por lo que continuará impartándose en distintos lugares de la región.
- La temática difundida constituye un aporte importante al nuevo sistema educativo, considerando que se encuentra en forma transversal en las distintas áreas curriculares.
- Los cursos implementados posibilitan la apertura tecnológica de un tema innovador como Residuos y el Ambiente relacionados a la región, para ser desarrolladas a través del área de Tecnología en un Proyecto Curricular Institucional.
- Para configurar una Educación Tecnológica consistente se propone como contenido en futuros cursos los siguientes puntos: Residuos y el Ambiente, Tecnologías Limpias, Agroindustrias Regionales, Aspectos Gestionales y Dinámica del Mercado dentro del marco de la sustentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ley Federal de Educación (Ley 24.195) 1.993.
2. Consejo Federal de Cultura y Educación . (1.994). Resolución N° 37: Criterios para la planificación de diseños curriculares compatibles.
3. Luis Doval, Aquiles Gay.Tecnología. Finalidad educativa y acercamiento didáctico. PROCENCIA. CONICET. Ministerio de Cultura de Educación. Programa de Perfeccionamiento Docente: 1.996
4. Luis Doval. Tecnología. Estrategia Didáctica. PROCENCIA. CONICET. Ministerio de Cultura de Educación. Programa de Perfeccionamiento Docente. 1.998
5. G. Plaza, O. Pacheco, P. Robredo, A. Saravia. Muestreo de residuos municipales clasificados. Publicado en las Actas XVII Reunión de Trabajo de ASADES. Rosario. Octubre de 1994.
6. G. Plaza, O. Pacheco y P. Robredo. Residuos en el Valle de Lerma, Salta - Argentina. 9º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente", Córdoba. Junio de 1996.
7. M. Martearena, G. Plaza, F. Siferiz, P. Córdoba. Depuración biológica de efluentes lácteos. Publicado en Actas XIX ASADES. Mar del Plata. Noviembre de 1.996.
8. G. Plaza. Tratamiento anaeróbico de efluentes avícolas. Publicado en Actas XIX Reunión de Trabajo ASADES. Mar del Plata. Noviembre 1996.
9. M. Castañeda, G. Plaza, C. Cuevas. Comportamiento de un reactor UASB en escala piloto en dos períodos estacionales. Actas XIX ASADES. Mar del Plata. Noviembre de 1.996.
10. G. Plaza, O. Pacheco, P. Robredo, A. Saravia Toledo. "Anaerobic treatment of municipal solid waste". Wat. Sci. Tech. Vol. 33, N° 3. Pp 169 - 175, 1996. Copyright 1996 IAWQ-ABES (International Association on Water Quality - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental). Editorial Pergamon.
11. G. Plaza, D. Cabrera, N. Aguilera. Evaluación de los efluentes provenientes de la explotación de petróleo. Impacto sobre el Parque Nacional Calilegua, Argentina. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela. Diciembre de 1.997.
12. O. Pacheco, G. Plaza, C. Sánchez. Unidades Domésticas de Compostaje: Impacto y factibilidad económica y ambiental. I Congreso Iberoamericano de Aprovechamiento de Desechos y Tecnologías Limpias. IV Taller de Aprovechamiento de Desechos Agroindustriales. Departamento de Química. Univ. Nacional. Heredia, Costa Rica. Junio de 1997.
13. G.Plaza, O.Pacheco, M.R.Martearena, E. Scaroni, D.Sanchez. Apuntes Curso Residuos, Contaminación y Preservación del Ambiente. 1.997.

EQUIPOS PARA LA ENSEÑANZA DE LOS FENOMENOS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA Y DE CONVERSIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

Enrique Albizzati y Germán Rossetti

Cátedra de Fundamentos de la Ingeniería Química - Dpto. de Ing. Qca.
Facultad de Ingeniería Química - U.N. del Litoral
Stgo del Estero 2654 - (3000) Santa Fe - Fax 042 - 571162 - E-mail: albizzati@fiquis.unl.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se presentan equipos desarrollados en Trabajos Prácticos grupales, con participación activa de los estudiantes. Las actividades comprenden el diseño, la construcción y el ensayo de un equipo didáctico para el estudio de los fenómenos de Transferencia de Energía, haciendo énfasis en aquellos que pueden ser útiles en el área de Energía Solar. Estos equipos están orientados al análisis fenomenológico y conceptual, y a la medición de coeficientes, involucrando los tres mecanismos básicos: conducción, convección y radiación. El objetivo del Trabajo Práctico es que los alumnos adquieran capacidades, aptitudes y actitudes, no contempladas en los métodos tradicionales de enseñanza. A través de esta nueva modalidad de enseñanza-aprendizaje, se vincula la teoría y la práctica, lo conceptual y lo aplicado, lo actitudinal y la práctica social, la transferencia de generalizaciones a contextos concretos y la consideración de situaciones reales como punto de vista para consolidar los elementos teóricos.

INTRODUCCIÓN

El curso Fundamentos de la Ingeniería Química es una asignatura del tercer año de la Carrera de Ingeniería Química, de transición entre las básicas (Matemáticas, Física, Química, Termodinámica, Cálculo Numérico y Computación) y las correspondientes al ciclo de Formación Profesional (Operaciones Unitarias, Ingeniería de las Reacciones Químicas, Instrumentación y Control de Procesos). En la misma se estudian los Fenómenos de Transferencia de Cantidad de Movimiento, de Energía y de Materia, así como las ecuaciones del Balance Integral y Local de estas propiedades.

Las actividades de enseñanza-aprendizaje comprenden clases teóricas, de resolución de problemas y la realización por parte de los estudiantes de un trabajo práctico intensivo. La planificación del trabajo práctica involucra el diseño, la construcción y el ensayo de un equipo didáctico, y se encuadra en lo que se conoce como "método de proyectos", tiene características extra-áulicas y grupal, realizándose en base a una metodología de participación activa, bajo la supervisión de un docente. La metodología aplicada genera interés, favorece las relaciones interpersonales, brinda oportunidades para la comunicación oral y escrita, contribuye a un mayor conocimiento y desarrollo de la habilidad en la toma de decisiones del estudiante, en lo que respecta a los procedimientos experimentales, exigiendo paralelamente una mayor dedicación de los docentes (Albizzati y colab., 1998).

En este trabajo se presentan algunos equipos desarrollados para el estudio de los fenómenos de Transferencia de Energía, haciendo énfasis en aquellos que pueden ser útiles en el área de Energía Solar. Estos equipos están orientados al análisis fenomenológico y conceptual, y a la medición de coeficientes de transferencia, involucrando los tres mecanismos básicos: conducción, convección y radiación. El tema Conversión de la Radiación Solar, no estaba incluido en la asignatura, utilizándose en un principio la actividad de Trabajo opcional como modalidad de enseñanza. Los resultados de la experiencia llevada a cabo favorecieron la posterior inclusión de la temática en las clases teóricas y de problemas correspondientes a Radiación Térmica.

EQUIPAMIENTO DESARROLLADO

A continuación se refiere a aquellos aspectos más significativos relacionados con los equipos didácticos. Se ha diseñado y construido un primer conjunto de equipos teniendo como base los esquemas y detalles de la bibliografía que incluye experiencias "típicas" para el estudio de estos temas, pero modificando varias de las propuestas en lo relativo a objetivos, modelos teóricos, elementos constructivos e instrumental de medición, alcanzando así una modalidad propia en la aplicación de cada uno de estos dispositivos.

Como ejemplo de las tareas realizadas en el tema Transferencia de Energía se pueden citar los equipos para medición de conductividad térmica de un aislante según la propuesta de Molyneux (1969) y la determinación de perfiles de temperatura en barras sólidas (Crosby, 1968). En el primer caso se ha incluido el estudio de la variación de la conductividad térmica del aislante con la temperatura, y en el segundo el efecto de la temperatura sobre el valor del coeficiente local de transferencia de energía desde la superficie de la barra al ambiente. Además se estudia la incidencia del flujo de aire sobre la transferencia de calor mediante convección forzada y convección natural.

Otros desarrollos clásicos relacionados con esta área son el cálculo y la verificación experimental de coeficientes totales e individuales de transferencia de calor en un tanque agitado con serpentín interno y en un intercambiador de tubos concéntricos (Crosby, 1968). En ambos equipos el calentamiento se efectúa utilizando vapor de agua a baja presión. En el tanque agitado se investiga la variación del coeficiente total de transferencia de energía con el tiempo y con la velocidad del agitador. En los trabajos, empleando el intercambiador de tubos concéntricos, se ha determinado el efecto del caudal másico de fluido calentado sobre el coeficiente total y el coeficiente convectivo interno de transferencia de energía usando el método de Wilson (Greenkorn y Kessler, 1972).

También se han abordado otros temas relacionados con la Transferencia de Energía, pero aunque las pautas seguidas en estos, fueron análogas a las aplicadas en la adaptación de los equipos clásicos referidos con anterioridad, puede decirse que en general el avance fue más lento. En todos los casos, se dio lugar a un análisis más crítico, surgieron mayores discusiones en lo que respecta a detalles constructivos, modelado teórico, técnicas de medición e interpretación de resultados experimentales. Fue necesario contrastar la información obtenida con la proveniente de revistas y libros, se reformularon los modelos y se redefinieron los objetivos del Trabajo Práctico en función de las primeras conclusiones elaboradas.

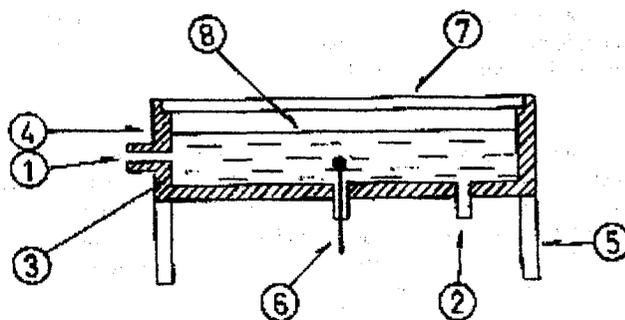
Dentro de este grupo puede incluirse el dispositivo para estudiar la Transferencia de Energía desde una superficie plana (Incropera y De Witt, 1990). Para efectuar el estudio se adoptó la forma de placa circular, analizándose el efecto de tipo de superficie sobre el valor del coeficiente de transferencia de energía y del flujo de calor transferido por los mecanismos de convección natural y de radiación térmica. Las experiencias se llevaron a cabo con superficies de acero inoxidable muy pulido y con la misma superficie cubierta con una pintura negra mate. Los resultados experimentales sirvieron para discutir sobre las restricciones de las correlaciones propuestas en la bibliografía.

Otros equipos de este tipo son los relacionados con la utilización de la Energía Solar: Calentamiento de Agua con Radiación Solar y Calentamiento de Aire en un Colector Solar, los cuales se detallan a continuación:

Calentamiento de Agua con Radiación Solar

El fenómeno en estudio es el calentamiento de líquidos empleando radiación solar. El objetivo del trabajo es comparar el comportamiento de dos equipos simples que colectan y acumulan energía solar. Están formados básicamente por una caja de chapa galvanizada que contiene agua, en su parte superior tienen una cubierta, luego una cámara de aire y una placa metálica de chapa pintada de negro en contacto con el fluido, y se encuentran aislados en los laterales y en el fondo (Figura 1). Uno de ellos posee la cubierta de vidrio común y el otro de policarbonato alveolar, ambas de igual espesor.

La energía absorbida, que es función del tiempo, se expresa como el producto entre la radiación solar incidente y el rendimiento óptico. La energía perdida por unidad de área se expresa como el producto entre el coeficiente total de pérdidas de energía y la diferencia entre la temperatura del fluido y la ambiente. El rendimiento térmico es función de las temperaturas referidas y puede calcularse midiendo la radiación solar y la masa de fluido. Haciendo uso de un método de regresión se encuentran el rendimiento óptico y el coeficiente de pérdidas, para caracterizar y comparar los dos tipos de colectores solares (Albizzati y colab., 1993).



- | | | |
|-----------------------|-------------------|------------------------|
| 1 - Carga de agua | 4 - Caja de chapa | 7 - Cubierta de vidrio |
| 2 - Descarga de agua | 5 - Soportes | 8 - Placa absorbente |
| 3 - Aislación térmica | 6 - Termocupla | |

Figura 1: Calentamiento de Agua con Radiación Solar.

En cualquier instante la energía útil se expresa como la diferencia entre la energía absorbida y la energía perdida por el dispositivo, siendo:

$$M_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = \eta_0 I A_c - U_c A_c (T_w - T_a) \quad (1)$$

A_c	área del colector	T_a	temperatura ambiente (°C)
C_{pw}	calor específico del agua (kJ/kg °C)	T_w	temperatura media del agua (°C)
I	radiación solar incidente (kW/m ²)	U_c	coeficiente de pérdidas de energía (kW/m ² °C)

M_w masa de agua (kg)
 t tiempo (s)

η_0 rendimiento óptico (-)

Si se define el rendimiento térmico del equipo solar como la relación entre la energía útil y la radiación incidente resulta entonces:

$$\eta = MC_p \left(\frac{dT}{dt} \right) / (IA_c) \quad (2)$$

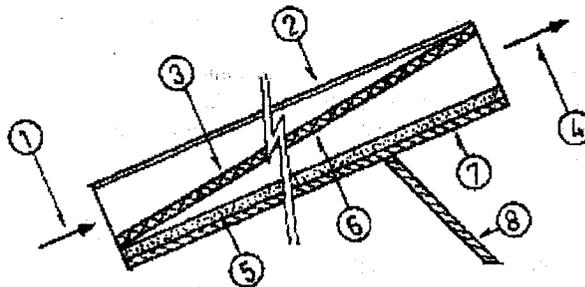
Para cada uno de los equipos, en las experiencias, se miden cada 10-20 minutos las temperaturas T y T_a , y la radiación, que es la suma de la radiación directa y difusa incidente sobre el colector. Para cuantificarla se utiliza un piranómetro Eppley que posee como detector térmico una termopila; las temperaturas se miden con termocuplas y lector digital. Dado que el rendimiento térmico puede formularse como:

$$\eta = \eta_0 - U_c (T - T_a) / I \quad (3)$$

al representar η vs $(T - T_a)/I$, se puede verificar que los puntos representados están alineados, significando ello que η_0 y U_c son constantes. Por otro lado, aplicando el método de los cuadrados mínimos se determinan η_0 (ordenada al origen) y U_c (pendiente de la recta). Luego se pueden comparar los valores obtenidos de ambos parámetros los que sirven para caracterizar los dos tipos de colectores acumuladores de la radiación solar.

Calentamiento de Aire en un Colector Solar

Se analiza el comportamiento de un equipo para calentamiento de aire con energía solar, determinándose la eficiencia térmica y sus parámetros característicos. La radiación solar atraviesa una lámina plástica transparente de nylon y se acumula en un lecho absorbente constituido por virutas metálicas distribuidas sobre una malla que actúa como soporte. La corriente de aire, que circula a través del lecho impulsada por un ventilador-extractor, se calienta la recibir parte de la energía térmica acumulada en el lecho. La cubierta y el lecho se hallan contenidos por una estructura de madera cuya cara inferior soporta un aislante térmico (Figura 2). En las experiencias se miden en el transcurso del tiempo, las temperaturas de entrada y salida del aire, y las temperaturas en varios puntos del lecho, también se determinan la velocidad del aire, y la radiación solar sobre el colector. El diseño de las experiencias y el procedimiento de cálculo aplicado permiten hallar la temperatura media de la malla en cada instante, la eficiencia térmica, el rendimiento óptico y el coeficiente de pérdidas de energía, característicos del colector solar.



- | | | |
|---------------------------|----------------------|----------------------|
| 1 - Entrada de aire | 4 - Salida de aire | 7 - Caja contenedora |
| 2 - Cubierta transparente | 5 - Aislante térmico | 8 - Soporte |
| 3 - Material absorbente | 6 - Malla de soporte | |

Figura 2: Calentamiento de Aire en un Colector Solar.

La energía útil en este equipo es el producto entre el caudal, calor específico y salto térmico de la corriente de aire que circula por el colector. A su vez en la ecuación de balance por el lecho absorbente se incluyen los términos relacionados con la energía acumulada, absorbida y perdida.

$$M_L C_L \frac{dT_L}{dt} = \eta_0 I A_c - U_c A_c (T_L - T_a) - m C (T_s - T_e) \quad (4)$$

- | | | | |
|-------|---------------------------------------|-------|--------------------------------------|
| C | calor específico del aire (kJ/kg °C) | T_e | temperatura de entrada del aire (°C) |
| C_L | calor específico del lecho (kJ/kg °C) | T_L | temperatura media del lecho (°C) |
| m | caudal másico del aire (kg/s) | T_s | temperatura de salida del aire (°C) |
| M_L | masa del lecho (kg) | | |

Estas últimas son las nuevas variables incluidas para este caso, ya que el significado de los símbolos t , η_0 , I , A_c , U_c y T_a es el mismo que para el equipo solar antes descrito.

El rendimiento térmico del colector solar de aire responde a la expresión siguiente:

$$\eta = m C (T_s - T_e) / (I A_C) \quad (5)$$

Puede ser calculado realizando la medición del caudal y la temperatura del aire y posterior estimación del calor específico, además de la medición de la radiación solar incidente sobre el plano del colector y del área del mismo.

La determinación de los parámetros característicos del colector puede realizarse mediante la definición de un rendimiento ficticio:

$$\eta^* = \eta + m C \left(\frac{dT_m}{dt} \right) / (I A_C) \quad (6)$$

Haciendo uso de la relación lineal entre η^* y $(T_m - T_a) / I$ semejante a la del colector solar de agua.

$$\eta^* = \eta_0 - U_c (T_m - T_a) / I \quad (7)$$

Por ello es que se aplica en ambas situaciones un método idéntico para correlacionar los datos y obtener los citados parámetros.

CONCLUSIONES

El desarrollo de los Trabajos Prácticos ha dado lugar a que los estudiantes aborden situaciones que pueden resolverse según variados enfoques, propiciando la estimulación del pensamiento creativo, el análisis crítico, el razonamiento y la iniciativa personal de los estudiantes. También posibilita, en general, una relación más intensa con Centros de Documentación, Gabinete de Informática, Institutos de Investigación, Talleres de Vidrio y Mecánico, y Servicios de Planta Piloto.

El trabajo en grupo favorece la formación en el campo de las relaciones interpersonales y el desarrollo de capacidades de liderazgo, lo cual resulta beneficioso para el futuro Ingeniero considerando que la carencia de estos atributos va en desmedro de su desempeño profesional, aún cuando cuente con las capacidades técnicas requeridas. Además brinda buenas oportunidades para el ejercicio de la comunicación lo cual es útil, teniendo en cuenta la dificultad real que representa para los estudiantes de Ingeniería la expresión oral y escrita.

Con respecto a las actividades relacionadas con la Radiación Solar, se observa que su inclusión en la planificación de las clases teóricas y en los prácticos, ha posibilitado abordar nuevos conceptos, y asimismo suavizar los enfoques tradicionalmente duros relacionados con la Radiación Térmica que se presenta en la bibliografía clásica (concepto de cuerpo negro y reales, variación espectral de las propiedades ópticas), asimilándolos a través de esta temática. Otro aspecto a tener en cuenta es la posibilidad de analizar claramente la participación de los mecanismos de Transferencia de Energía (conducción, convección y radiación) y su importancia relativa en ambos equipos solares. Por otra parte es sabido que existen semejanzas con el tratamiento de otros tipos de intercambiadores (carcaza y tubo, tubos concéntricos, compactos) las que pueden ser destacadas en el análisis de cada uno de ellos.

Finalmente debe comentarse que debido al interés mostrado por los estudiantes, se ha implementado un Taller sobre Conversión Térmica de la Radiación Solar, pasantías, cientíbecas, becas de iniciación a la Investigación y se ha dictado un curso sobre el tema en el Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Química, que se realizó en Santa Fe.

AGRADECIMIENTOS: Se agradece a la Universidad Nacional del Litoral (Programación CAI+D), por su contribución a la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Albizzati, E., Arese, A., y Rossetti, G. (1993), "Trabajo Práctico sobre Calentamiento de Agua con Energía Solar", Actas de la 16ª Reunión ASADES y 7º Congreso ALES, pp. 493-499.
- Albizzati, E., Arese, A., Estenoz, D. y Rossetti, G. (1998), "Equipamiento para el aprendizaje de los Fundamentos de la Transferencia de Cantidad de Movimiento, de Energía y de Materia", *Información Tecnológica*, Vol. 9, n° 4, pp. 349-355.
- Crosby, E. J. (1968), "Experimentos sobre Fenómenos de Transporte en las Operaciones Unitarias de la Industria Química", Ed. Hispano Americana S.A., Buenos Aires.
- Greenkorn, R. A. y Kessler, D. P. (1972), "Transfer Operations", Ed. Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- Incropera F. y De Witt D. (1990), "Fundamentals of heat and mass transfer", 3rd. Ed., Ed. J. Wiley & Sons, New York.
- Molyneux, F. (1969), "Ejercicios de Laboratorio de Ingeniería Química", Ed. Blume, Madrid.

EDUCACIÓN AMBIENTAL Y ENERGÍAS RENOVABLES EXPERIENCIA EN UNA RESERVA NATURAL

Carlos Corbella¹, Sandra Vernet²,
Fundación Rachel y Pamela Schiele, Estancia Las Dos Hermanas, Arias, Córdoba, Fax: (054) 468 40152
Silvia de Schiller³, John Martin Evans⁴ y Fabián Garreta⁵,
Centro de Investigación Hábitat y Energía, FADU-UBA.
Fax (01) 782 8871 e-mail evans@fadu.uba.ar

RESUMEN

La Fundación Rachel y Pamela Schiele tiene entre sus objetivos principales la protección de la naturaleza, incluyendo la promoción de los cultivos orgánicos y el uso de las energías renovables. El Programa educativo desarrollado en la Estancia Las Dos Hermanas que se presenta en este trabajo es una de las herramientas más importantes para lograr estos objetivos. Se analizan los resultados del primer año del programa, destinado a alumnos de los niveles EGB y Polimodal. Las instalaciones solares realizadas en la estancia permiten mostrar aplicaciones prácticas, que complementan los conocimientos teóricos del programa educativo formal. Se presenta una evaluación de su funcionamiento desde el punto de vista técnico y de los usuarios.

INTRODUCCIÓN

La Fundación Rachel y Pamela Schiele realiza sus actividades en una Estancia en el sudeste de la Provincia de Córdoba, cerca a la Ciudad de Arias, comprendida en una Reserva Natural de la provincia. En este predio, se ha implementado un Programa de Educación Ambiental, que cuenta con el auspicio de la Fundación Vida Silvestre Argentina, FVSA. El reconocimiento del Ministerio de Educación de la Provincia de Córdoba está en trámite. El objetivo del Programa, orientado a alumnos de los niveles EGB y Polimodal, es promover el contacto directo con la naturaleza, y que los alumnos conozcan y comprendan los principios básicos que la rigen. Además, que los alumnos consideren como una opción a la producción orgánica, como estrategia para la conservación de la naturaleza. En este contexto también se muestran y explican la utilización de energías renovables no contaminantes, especialmente la energía solar y eólica. Para cumplir con dichos objetivos se realizan varios encuentros con el mismo grupo de alumnos a lo largo del año escolar y en años posteriores, además de realizar actividades introductorias o especiales con el resto del alumnado y entidades civiles como ecoclubes, scouts, etc. Además en el futuro, el Programa prevé alternativas como viajes, jornadas especiales, cursos para docentes, etc.

Por tratarse de una actividad educativa no formal, es muy importante abordar la temática educativa respetando el programa curricular existente. Las actividades también requieren contenidos atractivos tanto para los alumnos como para los docentes, con el fin de transferir los conceptos y lograr continuidad en el tiempo. Solamente así se puede pretender lograr los imprescindibles cambios de conducta en nuestra sociedad. Para ello se estimula a los alumnos en la búsqueda de datos y experiencias para futuros encuentros, despertando en ellos un espíritu crítico y creativo en el enfoque de la aplicación de alternativas en la realidad que les toca vivir.

La actividad principal de esta región del sudeste de la provincia de Córdoba es la producción agropecuaria, y ha provocado importantes modificaciones en los ambientes naturales por el uso de técnicas intensivas y agroquímicos. Además, las aguas naturales de la región son relativamente saladas con arsénico (Nuñez, 1990). La Estancia Las Dos Hermanas forma parte de la Reserva Provincial "Laguna Las Tunas" y realiza toda su producción en forma orgánica. En un sector de la estancia, se ha destinado una superficie de 1000 ha, convertida en Refugio de Vida Silvestre, mediante un convenio con la Fundación Vida Silvestre Argentina, donde se protege la flora y fauna representativa de la región. Cabe aclarar que se encuentran en el Refugio, ambientes que no son trabajados por maquinaria agrícola alguna desde hace 50 y 100 años. Así el refugio ofrece la posibilidad de conservar y estudiar aspectos naturales de la flora y fauna original de la Pampa Húmeda.

¹ Guardaparque, Fundación Rachel y Pamela Schiele.

² Licenciada en Biología, Programa Educativo de la Fundación Rachel y Pamela Schiele.

³ Investigadora, Directora CIHE, FADU-UBA.

⁴ Investigador, Director CIHE, FADU-UBA.

⁵ Investigador, CIHE, FADU-UBA

EL PROGRAMA EDUCATIVO

El Programa Educativo Ambiental de la Fundación está dirigido a alumnos de 5° o 6° grado del primer ciclo y 9° o 3° año del segundo ciclo, según el plan de educación de la Provincia de Córdoba. El programa abarca actualmente a 19 colegios ubicados en 6 localidades de la región. La actividad principal son las visitas al campo, que se desarrollan principalmente en los meses de abril y mayo, con una segunda posibilidad en los meses de septiembre y octubre para aquellos que no pudieron visitar la estancia y su refugio al comienzo del año escolar. Durante el año 1997 visitaron el campo más de 500 alumnos de 12 escuelas correspondientes a 5 pueblos de la región. Adicionalmente se trabajó con más de 1.300 alumnos en dichos establecimientos educativos.

Las visitas tienen una duración de 6 hs. y se realizan de 10 a 16 hs. Para recibir a los grupos, se acondicionó el comedor del personal de la Estancia con material didáctico específico como posters y láminas sobre temas del programa, muestras de cráneos, huevos, cueros, alas, nidos, etc., siempre producto de recorridas y encuentros casuales, nunca de la apropiación de objetos u organismos útiles para las especies que viven en el predio.

La actividad comienza con una introducción referida a las características del campo y prosigue con diversos temas como: ecosistemas, adaptaciones, especies en peligro de extinción, energías alternativas, contaminación, residuos, etc. Estos temas son introducidos y desarrollados a través de charlas, juegos y experiencias. Cabe señalar que, en este campo se realiza el tratamiento de residuos orgánicos y la separación de residuos inorgánicos los que luego son enviados a la Municipalidad de Arias para que sean vendidos y el producto le sea donado al ecoclub local.

La charla a los alumnos incluye el tema específico de las energías alternativas, los distintos tipos de energía que el hombre utiliza para sus necesidades, los costos y las consecuencias de algunas de ellas. Luego se observan en forma directa dos fuentes de energía limpia, utilizadas para obtener agua caliente, el molino de viento y el colector solar. Se explican sus mecanismos básicos de funcionamiento y se comprueba la temperatura del agua del sistema solar.

Se observa que la mayoría de los alumnos, de las distintas edades, tienen conocimientos sobre energía solar como forma alternativa de energía, ya que la temática ha sido incorporada al plan de estudios. Sin embargo, la gran mayoría nunca ha visto un colector, ni entienden como funciona, ya que su conocimiento es abstracto y teórico, totalmente desvinculado de conceptos físicos tangibles y de conocimientos de aplicaciones prácticas.

Como resultado de estas observaciones, se está elaborando material educativo para que en la escuela se pueda armar un mecanismo simple para calentar agua y alimentos por medio de un sistema solar básico, y poder comprobar su funcionamiento en forma práctica. Un primer modelo de un calentador de agua fue probado durante las últimas visitas. Adicionalmente, se ha armado un modelo experimental para conocer el comportamiento del agua en el panel colector.

Luego del almuerzo al aire libre, los alumnos son trasladados en un carro tirado por un tractor hasta las cercanías de la laguna; allí se realiza una caminata observando y sensibilizando por medio del tacto, gusto u olfato las especies vegetales características de la zona. Posteriormente, se acerca a la costa de la laguna y se observa directamente o por prismáticos o telescopio a las aves que se encuentran en la laguna, y se comenta acerca de las distintas características que ellas poseen. En caso de encontrar especies silvestres no peligrosas, tales como sapos, ranas, lagartijas, culebras, etc. se las captura con el fin de explicar y mostrar sus características, y posteriormente son liberadas.

Se entrega a los docentes material educativo preparado especialmente de acuerdo a los temas que se desarrollan en las visitas, los cuales incluyen varias materias para relacionar las distintas áreas de trabajo con la Educación Ambiental (Parques Nacionales, 1983). El material puede ser guías de trabajo, juegos, actividades plásticas, etc., elaborados por los autores y adaptados de acuerdo al grupo con el que se trabaja. Es importante destacar que pese a la actualización de manuales de estudio, los mismos no incluyen actividades que permitan que el alumno interactúe con su medio, ni que el docente conozca la flora y fauna de su zona. Por esto último también se desarrollan Talleres de Educación Ambiental para docentes de los distintos niveles educativos, EGB, polimodal y terciarios, donde se los inicia en técnicas de Educación Ambiental y en el conocimiento empírico de su entorno.

LECCIONES DE LOS SISTEMAS SOLARES

Tres de los puestos de la estancia cuentan con sistemas solares para el calentamiento de agua, y se prevé la instalación de otro sistema solar en un cuarto puesto próximamente. Las experiencias con estos colectores demuestran el potencial de los sistemas solares en aplicaciones rurales, así como cuáles son algunos de los problemas que se deben superar a fin de lograr la más amplia difusión de esta aplicación de energía solar. Las instalaciones responden a los objetivos de la Fundación y proporcionan elementos didácticos en el marco del programa educativo.

Los dos primeros sistemas, colocados hace cinco años, tienen colectores de hidrobронz con placas de latón de 1,6 m² con un tanque presurizado de 80 litros. Estos sistemas funcionaban razonablemente bien en días soleados de verano,

pero sus dimensiones son limitadas para proporcionar agua solar caliente durante otras épocas del año.

Con solo cinco años de uso, los sistemas han tenido los siguientes inconvenientes:

- El aislante térmico, lana de vidrio con una cinta de tela con brea se ha deteriorado casi totalmente.
- Los caños de hidrobrazo, contienen depósitos de sarro, reduciendo el flujo en el termosifón.
- El tanque de agua en uno de los puestos tenía corrosión avanzada y empezó a perder agua al moverse el tanque.
- El diseño del colector, no permite un desagote total al drenarlo en invierno, provocando rotura por congelación. No se registraron problemas de congelación en las temporadas de invierno cuando el sistema no se drenaba.

Con el fin de mejorar el rendimiento del colector y superar los inconvenientes, fueron adoptadas las siguientes especificaciones, con tanque presurizado y transferencia de calor por termosifón:

- Colectores de 5 m² en cada puesto, con tanque de 240 litros.
- Colectores de acero inoxidable resistente a heladas
- Caños de polipropileno con termofusión de las uniones, resistentes a heladas y a las incrustaciones de sarro.
- Integración de una caldera a leña en el circuito de los colectores con termosifón

El rendimiento del sistema durante su primer año de funcionamiento fue excelente con abundante agua caliente en días soleados y una acumulación de agua caliente de la caldera a leña que flexibilizaba su uso. Los usuarios rápidamente notaron los beneficios de tener agua caliente a suficiente temperatura por la mañana y por la tarde, durante todo el verano y la mayoría de los días en los equinoccios, sin necesidad de tener que encender el calentador a leña para tomar una ducha o lavar la vajilla. Sin embargo, durante una visita de mantenimiento, se comprobó indicios de corrosión en los colectores de acero inoxidable, debido a la muy alta alcalinidad y dureza del agua (Ph = 0,78). Cabe señalar que sistemas convencionales de calentamiento de agua y cañería también están perjudicados por la agua agresiva y el sarro que obstruye los caños y disminuye la vida útil de los artefactos.

La solución adoptada fue la de sustituir el tanque de acumulación instalado por otro sin presurización, de fibrocemento, y con circuito cerrado de intercambio calórico con los colectores y el "quematutti". Una válvula de retención separaba los circuitos abiertos y cerrados, alimentados por un tanque intermediario con flotante. La modificación del sistema provocaba una serie de inconvenientes:

- El flotante no permitía un caudal de agua suficiente para mantener la alimentación de las duchas.
- La válvula de retención no cerraba, permitiendo una migración de los iones que provocaba la corrosión.
- El intercambiador disminuyó significativamente la transferencia de calor del circuito del "Quematutti" al tanque.

Otro problema, observado tanto en estas instalaciones y como en otras inspeccionadas, es la protección de la aislación térmica, la cinta aluminizada no resiste la exposición al sol y se notan graves deterioros después de 6 meses. La solución final consistió en adaptar el tanque sin presurización, con circuito abierto para el "Quematutti" y uno cerrado para los colectores con un intercambiador de calor de mayor desarrollo y capacidad. El tanque con flotante fue ajustado para levantar levemente su nivel. Así se pueden proteger los colectores de la corrosión con una separación entre los circuitos, asegurar un buen caudal de agua y mejorar la transferencia de calor desde el "Quematutti" y los colectores.

CONCLUSIONES

Durante el año 1997 visitaron el campo más de 500 alumnos, de 12 escuelas correspondientes a 5 pueblos de la región, y se trabajó con más de 1.300 alumnos en dichos establecimientos educativos. El programa educativo ambiental se basa en la premisa de la observación directa y la actividad práctica como base del aprendizaje. Se ha notado que la mayoría de los alumnos, de distintas edades, conocen la energía solar como forma alternativa de energía y otros temas ambientales por estar incorporada la temática en la curricula formal. Los alumnos están informados de la teoría pero carecen de conocimientos directos y prácticos sobre las energías renovables.

El programa está planificado para un período de 6 años, con una serie de evaluaciones durante el desarrollo del mismo y en su finalización. Se considera que la continuidad es el elemento más significativo que necesita este programa de educación ambiental para cumplir con sus objetivos.

La incorporación de los colectores solares complementa las demás actividades de la Fundación y proporciona elementos didácticos de gran valor. Sin embargo, fue necesario realizar varios ajustes a fin de superar los inconvenientes de funcionamiento, y asegurar una convincente demostración de su funcionamiento, aún en esta zona con condiciones de agua muy desfavorables.

REFERENCIAS

ADMINISTRACIÓN DE PARQUES NACIONALES (1983) Manual de Interpretación Ambiental, Buenos Aires.
NUÑEZ, M (1990) Arias, 100 años de vida, Córdoba.

EL SOL QUE LLEGA A LA TIERRA: APRENDEMOS A USAR SU ENERGIA.

Daniel Hoyos, Alejandro Hernández, Angélica Boucíguez, Sonia Esteban, Adriana Ovejero y Silvia Méndez
Consejo de Investigaciones. Universidad Nacional de Salta.
Buenos Aires 177, 4400, Salta. – Tel: (087) 255424 – Fax: (087) 255489 – E-mail: Hoyosd@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

Este trabajo se basa en la descripción de un video sobre el acondicionamiento térmico de un edificio mediante energía solar, a implementar como herramienta didáctica a nivel polimodal y E.G.B., en establecimientos escolares de la ciudad de Salta. Se explicita la fundamentación pedagógica del uso de medios audiovisuales en el aula recalcando el carácter motivador y disparador de discusiones constructivas. Se describen brevemente el argumento del video y las características técnicas de su elaboración y posterior visualización. Finalmente se presenta la forma en que este recurso se utiliza en el ámbito del aula atendiendo al hecho de que su duración es de solo 5 minutos. El video fue desarrollado utilizando técnicas de animación por computadora y va acompañado de una cartilla de actividades para el alumno y una guía para el docente.

INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo consiste en el desarrollo y posterior implementación en el aula, de un video sobre el tema acondicionamiento térmico de un edificio mediante energía solar, a fin de transmitir al educando conceptos básicos sobre el uso racional de energía no convencionales, la utilización de fuentes alternativas, y el cuidado del medio ambiente. La necesidad de transmitir estos planteos a la escuela, en concordancia con lo propuesto en la nueva curricula hizo que se formulara el mismo para los niveles Polimodal y E.G.B.

La Ley 24.195 de Educación Federal (1995), plantea una reformulación de contenidos, haciendo hincapié en el cuidado del medio ambiente y en la correcta utilización de los recursos naturales, este cambio que implica a su vez, la necesidad de asumir una nueva concepción de los procesos de enseñanza y de aprendizaje, respondiendo a las demandas sociales y respetando los intereses y requerimientos de los grupos participantes de la estructura escolar.

El planteo de temas tan importantes como la preservación del medio ambiente y la utilización de fuentes alternativas de energía incluidos en la nueva curricula, imponen la necesidad de pensar en el sol como ente capaz de cubrir muchas necesidades del hombre de hoy.

En efecto, la energía proveniente del sol permite la sustitución de los recursos energéticos tradicionalmente usados, ya que ella puede utilizarse, directa o indirectamente en el acondicionamiento de viviendas, el calentamiento de agua, el secado de productos agrícolas, la generación de energía eléctrica para distintos usos, etc. De todas las aplicaciones posibles de la energía solar, se ha elegido para comenzar el acondicionamiento térmico de viviendas.

Dicho acondicionamiento esta ligado al conocimiento de las características climáticas del lugar en el que se encuentra el edificio. No obstante las diferencias climáticas pueden darse pautas de diseño generales que señalan cómo utilizar el recurso solar para lograr un buen acondicionamiento térmico durante todo el año. Sobre esta base, se ha trabajado para indicar las trayectorias de los rayos solares en invierno y verano y sugerir pautas que optimicen el aprovechamiento de esta fuente de energía, señalando también su naturaleza limpia e inagotable.

La utilización de recursos que permitan mostrar con claridad este efecto y los pasos a seguir para lograrlo, hacen de la técnica de animación por computación una herramienta actual en el proceso de enseñanza y de aprendizaje. En las secciones que siguen se explicita el marco teórico desde el que se hace la propuesta, las tecnologías usadas en su elaboración y la propuesta para su implementación en el aula así como las conclusiones alcanzadas.

EL MARCO TEORICO DESDE EL QUE SE HACE LA PROPUESTA

En la elaboración del recurso didáctico que se presenta en este trabajo, se asume que el educando participa activamente en la construcción de su conocimiento. Se valora el intercambio de ideas que permiten arribar a una conclusión consensuada. El educando no se asume como "alguien a quien hay que llenar de contenidos", sino que posee un saber previo que es importante para la construcción de nuevos saberes. Se asume en síntesis el modelo de cambio conceptual para el aprendizaje.

En la formación de las nuevas generaciones, en los albores de un nuevo siglo, urge incorporar al aula, otras formas de organizar la información, tales como el video, las películas, los cassettes o las múltiples propuestas de la computación, que deben ser re-significadas como formas productoras de conocimiento en una relación inteligente con la tecnología.

Así como la escuela debe adaptarse a la sociedad de hoy, generando situaciones que lleven a solucionar los problemas actuales y a cambiar normas de conducta que nos permitan vivir en un mundo mejor, el docente debe aprovechar la tecnología y el lenguaje de los medios para que los grupos amplíen sus márgenes de comprensión y disfruten aprendiendo, rescatando el gusto por la ciencia y el uso de la tecnología en nuevos márgenes creativos.

De todo lo expuesto precedentemente se plantea la propuesta de video que se presenta a continuación

LA HISTORIA QUE RELATA EL VIDEO

El video comienza mostrando un esquema del sistema solar, con los planetas girando en sus respectivas órbitas, a continuación la cámara se acerca al sol y observa como salen los rayos de su interior, figura 1, siguiendo la cámara el camino de uno de ellos. A partir de este momento los protagonistas del relato son los rayos solares representados por flechas, Los que se dirigen a través del espacio y llegan a la tierra, atraviesan su atmósfera y se hacen visibles sobre su superficie.

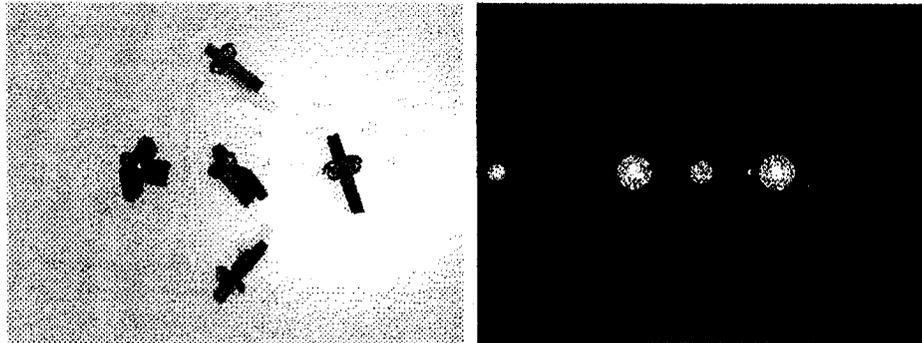


Figura 1

Se muestra entonces, la trayectoria de los rayos solares desde el amanecer al atardecer figura 2-a, proyectando sombras detrás de una casa, y como ellos penetran en la vivienda convenientemente orientada. La conjunción de los mismos produce la iluminación de la superficie que tocan y el consiguiente calentamiento de la misma. En esta instancia del relato aparece otro personaje, la letra T, figura 2-b que representa la temperatura, su cambio de color (progresivamente del azul al rojo) indica el aumento de la misma (en este caso de la pared). Pequeñas flechas rojas que salen de la parte superior de la T representan el aire que se calienta por el aumento de la temperatura



Figura 2

de la pared, este aire asciende a la vez que va entregando su energía térmica al entorno, mientras que disminuye su temperatura y comienza a bajar, con lo que las flechas viran progresivamente al azul y entran por la parte inferior de la T, repitiéndose el ciclo. Con esto se simboliza el movimiento de las masas de aire por diferencia de densidad al variar la temperatura. Esta es la forma que se calienta el aire de la casa durante el día y/o se acumula calor en paredes, techo y piso para ser aprovechados en la noche, lo que se visualiza mediante un cambio de color en la superficie. El relato se realiza mediante "voz en off". Para señalar los criterios a adoptar al construir una casa solar, se muestra paulatinamente las partes que la componen, figura 3, a la vez que se apuntan las diferencias respecto de una convencional, en cuanto a los materiales de construcción, el espesor de las paredes, las aberturas, las aislaciones si las hubiere, etc. Se pretende que esto sea generador de un debate que lleve al planteo de distintas situaciones y permita la discusión y el tratamiento del tema.



Figura 3

ELABORACION DEL VIDEO

En la elaboración del video, se han confeccionado animaciones por computadora, eligiendo para su almacenamiento el tipo GIF. Este tipo de archivo tiene la ventaja de poder ser mostrado en un documento HTML, en versiones anteriores se utilizaron archivos AVI y FLI. El video fue hecho por cuadros. Cada uno de los cuadros mostrados fue dibujado por separados utilizando una técnica de dibujo por computadora denominada *Renderización*, que consiste en fijar en un lugar al observador, en otro a las luces y trazar los rayos de luz que llegarían a él, reflejados de los distintos cuerpos del cuadro. Es necesario definir, las dimensiones de los objetos a representar, las luces, el observador y para cada uno de éstos, el color y la textura. (Hernández, A. et al, 1997). El audio fue grabado en formato WAV de 16 bit. Los textos y la música fueron grabados por separado y mezclados usando un programa apropiado.

Este video fue diseñado de forma que se pudiera reproducir usando distintos medios. Se grabo el video en una cinta VHS a través de una placa digitalizadora. Se construyo una pagina HTML para su difusión por INTERNET o usando un visualizador de HTML en una computadora aislada.

EL USO DEL RECURSO EN EL AMBITO DEL AULA

El video tiene una duración de aproximadamente 5 minutos. Lo que hace la propuesta didáctica es lo siguiente:

1. Indagación del conocimiento previo que los estudiantes poseen: se puede hacer por medio de encuestas, realización de pósters, etc. en los cuales los estudiantes muestran el conocimiento que posee acerca del tema. (orientación, construcción materiales). Esta actividad se puede realizar a través de talleres en el aula, trabajando con pequeños grupos para luego arribar a una discusión generalizada destinada a consensuar ideas.
2. Exposición del video.
3. Discusión final que permita confrontar los saberes previos discutidos en el punto 1, con los mostrados en el video y obtener las conclusiones finales.
4. Distribución de una cartilla de actividades.

CONCLUSIONES

Si bien todavía no se ha probado el video en el aula, ha despertado gran interés entre los docentes consultados, generándose numerosas preguntas y expectativas en torno al resultado de su implementación. En sucesivos trabajos podremos hacer una evaluación de las ventajas y desventajas de esta propuesta didáctica.

Es evidente que la metodología de trabajo empleada en el aula en el planteo de los distintos temas de la currícula debe estar compenetrada con un modelo que priorice el interés de los alumnos y la necesidad de lograr una mejor calidad de vida. Por esto en el presente trabajo se ha buscado una tecnología que sea a la vez novedosa e interesante. Para llevar esta técnica al aula es necesario que la institución cuente como mínimo con una computadora 486 con placa de sonido y monitor Super VGA, lo que no es usual. Por ello se ha pensado en transformar posteriormente el programa obtenido en una señal de video.

Por otra parte, el aprovechamiento de la energía solar para el acondicionamiento térmico de viviendas, es un tema que no puede dejar de interesarnos, sobre todo en este momento en que es imperiosa la sustitución de los recursos tradicionalmente usados y la utilización de energías limpias constituye un reclamo de nuestras generaciones futuras.

REFERENCIAS

Doval, L. y Gay, A., (1996) Tecnología. Finalidad Educativa y Acercamiento Didáctico, *Programa de Perfeccionamiento Docente, PROCENCIA, CONICET, Ministerio de Cultura y Educación de la Nación.*

- Hernández, A. et al. (1997) Utilización de Técnicas de Animación por Computación para Enseñar el uso y Aprovechamiento de la Energía Solar. *Actas del X Congreso sobre Métodos Numéricos y sus Aplicaciones. Mecánica Computacional, Vol. XXVIII, pp. 539-544.*
- Ley 24.195 (1995) *Congreso de la Nación*
- Puigrós A. (1995) *Volver a Educar. El Desafío de la Enseñanza Argentina a Finales del Siglo XX.* Ed. Ariel, Argentina.

APLICACION DEL PROGRAMA MATHEMATICA EN LA RESOLUCION DE PROBLEMAS TERMICOS EN SISTEMAS SOLARES

Luis Saravia* y Alejandro Hernández

INENCO - Universidad Nacional de Salta - CONICET
Calle Buenos Aires 177, (4400) - Salta, Argentina
Teléfono: 54 87 255424, Fax: 54 87 255489
E-mail: alejo@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se describe brevemente el campo de aplicación del paquete Indtherm, diseñado para realizar cálculos exactos en el área de la transferencia de calor, trabajando bajo Mathematica®, V.2.2 y se presentan algunas rutinas suplementarias formuladas con el mismo programa con el fin de resolver problemas térmicos relacionados con las energías renovables que no pueden ser encarados con el paquete mencionado. A título de ejemplo se presentan los resultados de dos programas de simulación en estado no estacionario para aplicaciones solares: el primero realiza el cálculo de la evolución temporal del calentamiento de una masa de agua en un colector tipo caja de pan y el segundo calcula la evolución de las temperaturas a distintas profundidades en un muro de ladrillo sometido en una de sus caras a condiciones variables periódicamente, según ondas cuadradas, de radiación solar y temperatura de aire ambiente. El paquete y el suplemento aquí presentado constituyen una herramienta muy flexible para encarar problemas térmicos, tanto en lo que se refiere a tareas de investigación como en la enseñanza universitaria.

INTRODUCCION

En el marco del primer curso de la nueva Maestría en Energías Renovables de la Universidad Nacional de Salta, se empleó el programa de cálculo Mathematica (1992) para la resolución de los problemas de transferencia térmica. Bajo este lenguaje trabaja un paquete diseñado especialmente para el tratamiento de los problemas térmicos llamado Indtherm el cual tiene definidas funciones específicas de fácil utilización que abarcan desde la transmisión de calor por conducción, convección y radiación, hasta cálculos con intercambiadores de calor. El paquete necesita ser completado con algunas rutinas formuladas con el Mathematica a fin de encarar toda la gama de problemas que se presentan en las aplicaciones de las energías renovables. En este trabajo se presenta el paquete Indtherm y las subrutinas agregadas y se ilustra su uso con dos ejemplos resueltos, planteados en dicho curso, Saravia (1998).

EL PROGRAMA MATHEMATICA

Este programa fue desarrollado en la compañía Wolfram Research por un equipo integrado por personas de distintos países bajo la dirección de Stephen Wolfram. El Mathematica es un entorno **completamente integrado** para efectuar cálculos computacionales numéricos y simbólicos habiendo tenido efectos, desde su lanzamiento en 1988, en la forma en que las computadoras son utilizadas en muchos cálculos ingenieriles y de otros campos de la ciencia. Desde la década del 60 han existido paquetes individuales específicos para efectuar cálculos numéricos y algebraicos, gráficos y otras tareas. El concepto del Mathematica ha sido el de crear un único sistema que pueda manejar los distintos aspectos del cálculo en forma unificada y coherente mediante el desarrollo de una nueva clase de lenguaje computacional simbólico, utilizando sólo un pequeño número de funciones primitivas básicas.

A nivel técnico, el Mathematica es considerado como una herramienta mayor del cálculo matemático en computadoras. Contiene una gran cantidad de nuevos algoritmos e importantes innovaciones técnicas. Una de ellas son los documentos independientes interactivos conocidos como **notebooks**. Estos notebooks se han convertido en la forma estándar de presentación de muchos cursos e informes, y con las capacidades agregadas en la versión 3.0, pueden transformarse en la forma estándar general para las publicaciones técnicas en la web. Hoy en día existen aproximadamente un centenar de paquetes comerciales especializados para usar bajo Mathematica, como así también varias publicaciones periódicas y más de doscientos libros dedicados a este sistema.

La mayor parte de la comunidad usuaria del Mathematica consiste de profesionales técnicos. Pero el Mathematica es muy usado también en educación, tanto en cursos de grado como de postgrado, resultando de gran utilidad tanto para los estudiantes técnicos como para los no técnicos.

EL PAQUETE INDTHERM

Este paquete (1996), desarrollado por Visual Analysis GmbH de Alemania para trabajar bajo Mathematica® Versión 2.2, permite efectuar cálculos **analíticos** en el campo de la transferencia de calor. Contiene gran cantidad de funciones predeter-

* Investigador de CONICET

minadas y más de 100 ejemplos resueltos, listos para copiar y empastar. El manual del usuario, además de la explicación detallada de cada función, incluye una introducción teórica de cada tema acompañada de ejemplos resueltos. Las áreas temáticas que aborda son las siguientes:

1) Transferencia de calor por conducción

- Conducción en estado estacionario en una y dos dimensiones en paredes planas y cilindros y esferas huecas con una o más capas, con o sin fuentes de calor interna. Transferencia de calor en aletas de sección rectangular y circular y en aletas radiales.
- Conducción en estado transitorio en una dimensión para sólidos seminfinitos, paredes, cilindros y esferas. En dos y tres dimensiones para placas y cilindros.

2) Transferencia de calor por convección

- Convección forzada en flujo externo sobre placas planas, cilindros, esferas y bancos de tubos. En el caso de flujo interno resuelve problemas de transferencia de calor en tubos de sección circular y no circular, tubos anulares concéntricos y ductos.
- En convección natural trata la transferencia de calor en placas planas, cilindros horizontales, esferas y cavidades.

3) Transferencia de calor por radiación

- Cálculo de la potencia emisiva espectral y total de cuerpos negros y grises y el intercambio radiante entre superficies y dentro de cavidades.
- Cálculo de factores de forma para determinadas configuraciones.

4) Intercambiadores de calor

Posibilita efectuar cálculos de diseño y predicción de la performance de los intercambiadores de calor tubulares en co y contracorriente, como así también en flujo cruzado y otras configuraciones.

SUBROUTINAS AGREGADAS AL PAQUETE

El carácter analítico del paquete Indtherm produce algunas limitaciones en su uso para resolver problemas térmicos en sistemas solares. Ellas provienen, básicamente, de hipótesis limitadas en cuanto a las condiciones iniciales o de borde que se pueden imponer en algunas subrutinas. Por otra parte, algunos sistemas térmicos de interés en aplicaciones solares no están tenidos en cuenta en el paquete. Estas situaciones se producen porque el paquete no considera el planteo de soluciones por vía numérica utilizando, únicamente, soluciones analíticas. Por estas razones se ha comenzado una tarea de preparación de algunas subrutinas complementarias, programadas con el mismo lenguaje Mathematica. Por ejemplo, se dispone ahora de una rutina de resolución numérica de la evolución térmica de un acumulador de piedras, que se utiliza en otro trabajo presentado a esta Reunión. Otra rutina plantea el cálculo de la evolución térmica de un muro pesado sometido a temperaturas y radiaciones variables en sus superficies, la cual es utilizada en uno de los dos ejemplos que se discuten a continuación. Se están preparando otras subrutinas, como las de cálculo de aire húmedo, que con las anteriores permitirán disponer de un sistema de simulación para equipos térmicos que usen energías renovables muy flexible, que permita un planteo rápido y compacto del problema y con una buena potencia de cálculo. El mismo podrá ser usado tanto en tareas de investigación como de enseñanza en cursos de transferencia de calor. A continuación se ilustran los conceptos vertidos con dos ejemplos, el primero de los cuales usa exclusivamente el paquete Indtherm y el segundo una de las nuevas rutinas.

ESTUDIO DE LA EVOLUCION TEMPORAL DE UN COLECTOR CALENTADOR DE AGUA TIPO CAJA DE PAN

Como ya se sabe, este tipo de colector consta de una caja bien aislada y con una cara vidriada, dentro de la cual se coloca un recipiente lleno de agua, pintado de negro para favorecer la absorción de la radiación solar I . Al ir aumentando uniformemente la temperatura del agua, T_h , debido a la transferencia de calor por convección dentro del recipiente, se comienza a ceder energía al aire contenido dentro de la caja, razón por la cual su temperatura, T_c , también aumenta con el tiempo. La ecuación diferencial que rige el calentamiento del agua, por m^2 de área expuesta a la radiación, es:

$$\rho \cdot c_p \cdot L \cdot dT_h / dt = I - h (T_h - T_c) ,$$

cuya solución está dada por: $T_h(t) = I / h + T_c + (-I / h + T_{h0} - T_{c0}) e^{-(h-t / \rho \cdot c_p \cdot L)}$

La potencia cedida por el agua al aire de la caja es: $q_{hc} = h_c (T_h(t) - T_c(t))$, la cual debe igualar a la potencia perdida desde el aire interior al exterior del colector a través del vidrio, $q_{ce} = U (T_c(t) - T_a)$, ya que el aire no acumula energía debido a su escasa masa térmica. L es el espesor del recipiente que contiene el agua, supuesto de sección rectangular; h , h_c y U son los coeficientes de transferencia convectivos en el agua, en el aire de la caja y el complejo convección - conducción a través del vidrio, respectivamente. El subíndice 0 hace referencia a valores iniciales y T_a es la temperatura del aire externo, supuesta constante. Así, en cada iteración temporal debe resolverse la ecuación lineal $q_{hc} = q_{ce}$, despejándose el valor de T_c y actuali-

zándose el de T_h .

La función *TransientLumpedHeat* permite calcular los valores de T_h y q_{hc} , mientras que la función *CompositeHeatTransition1D* del Indtherm hace lo propio con q_{ce} . A medida que la iteración evoluciona, los valores de T_{ho} y T_{co} son reemplazados por los de T_h y T_c del paso anterior.

La figura 1, generada por el propio programa, muestra la evolución temporal, a intervalos de 1hr, de T_h y T_c calculadas de esta forma mediante un programa escrito en Mathematica usando el paquete Indtherm. Se fijaron los valores de todas las temperaturas iniciales, como así también de la exterior, en 20 °C. Todos los coeficientes convectivos se asumieron iguales a 10 W/m² °C, fijándose la radiación solar en 700 W/m². Para las iteraciones se adoptó un paso temporal de 10 min. El ejemplo elegido es sencillo, evitando complicaciones en su descripción. No hay problemas en introducir condiciones más realistas, como ser la dependencia de los coeficientes convectivos con la temperatura, considerada en el paquete, o la dependencia de radiación y temperatura con el tiempo.

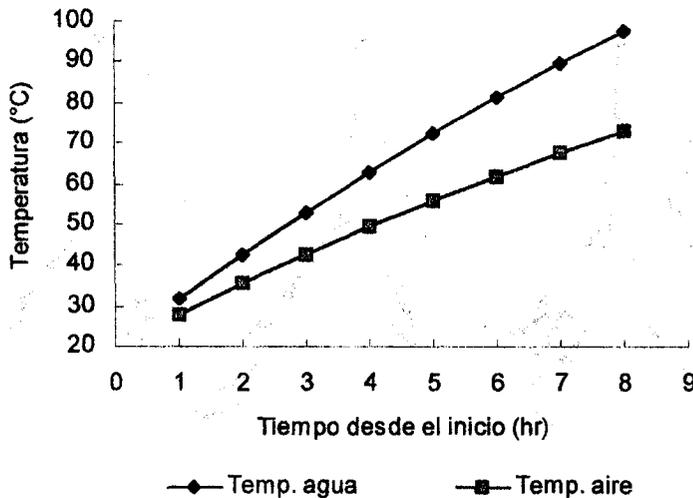


Figura 1: Evolución temporal de la temperatura del agua y del aire dentro del colector.

ESTUDIO DE LA EVOLUCION DE LA TEMPERATURA DE UN MURO DE LADRILLOS SOMETIDO, EN UNA DE SUS CARAS, AL EFECTO COMBINADO DE RADIACIÓN Y TEMPERATURA VARIABLES

En este caso, a medida que el sólido se va calentando por acción de la radiación solar que absorbe en su superficie, la energía demora en propagarse hacia adentro, ocasionando gradientes térmicos dentro del sólido que impiden que su temperatura sea uniforme durante su evolución. No pueden emplearse, entonces, ninguna de las funciones predefinidas en el Indtherm para las iteraciones y debe confeccionarse un programa en lenguaje Mathematica, haciendo uso de la técnica de discretización en diferencias finitas. La ecuación diferencial que rige el fenómeno es la de conducción del calor en estado no estacionario unidimensional:

$$\partial T / \partial t = \alpha \cdot \partial^2 T / \partial x^2$$

donde t es la variable temporal, x la espacial y α la difusividad térmica. Discretizando la ecuación anterior para N nodos espaciales y designando con el subíndice i al i -ésimo nodo y con el supraíndice n al n -ésimo paso temporal de la iteración, resulta el siguiente sistema de N ecuaciones lineales:

Nodos interiores: $T_i^{n+1} - T_i^n = \alpha (T_{i+1}^n - 2 T_i^n + T_{i-1}^n) \Delta t / \Delta x^2$ (N-2 ecuaciones)

Nodo exterior 1: $T_1^{n+1} - T_1^n = 2 \alpha [I^n / k - (T_1^n - T_2^n) / \Delta x - h_1 (T_1^n - T_a^n) / k] \Delta t / \Delta x$ (1 ecuación)

Nodo exterior N: $T_N^{n+1} - T_N^n = 2 \alpha [(T_{N-1}^n - T_N^n) / \Delta x - h_2 (T_N^n - T_a^n) / k] \Delta t / \Delta x$ (1 ecuación)

En estas ecuaciones Δt es el incremento temporal, Δx el ancho de los nodos interiores, h_1 y h_2 los coeficientes convectivos sobre las superficies que limitan el muro, k su conductividad térmica, T_a la temperatura del aire que rodea al muro e I la radiación solar absorbida por m² sobre la cara 1. Si se desea considerar que la cara 2 recibe también radiación, se debe agregar un sumando del tipo I / k dentro de los corchetes de la ecuación para el nodo N . Se puede observar en las ecuaciones nodales que el valor de la temperatura de un nodo depende, en cada paso temporal, de su valor y del de los nodos vecinos, calculados en el paso anterior. Esta forma de discretización recibe el nombre de método explícito y para resolverla se progra-

mó en el Mathematica una función denominada *MuroTransitorio* la cual, incluida dentro de un loop de incremento del tiempo, calcula las temperaturas de los N nodos para el tiempo n-ésimo.

En la figura 2 se presentan los perfiles de evolución de la temperatura, a intervalos de 1 hr, de los nodos 1,2,4 y 6 dentro de un muro de ladrillo de 25 cm de espesor, obtenidos con este programa. En la discretización se empleó $\Delta x = 0,05$ m, $N = 6$ y $\Delta t = 5$ min. Los nodos 1 y 6 corresponden a las caras 1 y 2 respectivamente siendo sus espesores $\Delta x / 2$. La distribución inicial de temperatura dentro del sólido se fijó en 10 °C para los 6 nodos, como así también para la T_a y los dos coeficientes convectivos se fijaron en 10 W/m^2 °C. Para simular la variación temporal de la radiación solar y de la temperatura ambiente sobre la cara 1, se aplicaron perfiles escalonados con valores máximos de 700 W/m^2 y 15 °C, respectivamente, durante 8 horas y mínimos de 0 W/m^2 y 10 °C durante otras 16 horas. La simulación total abarca un periodo de 72 hs. Se observa en la gráfica que la mayor amplitud de oscilación se produce en el nodo 1, retardándose y atenuándose la onda a medida que penetra dentro del sólido. Con esta rutina el paquete puede encarar el estudio de sistemas solares compuestos de locales con paredes pesadas, tales como edificios o invernaderos que no incluyan variaciones importantes de humedad en el aire.

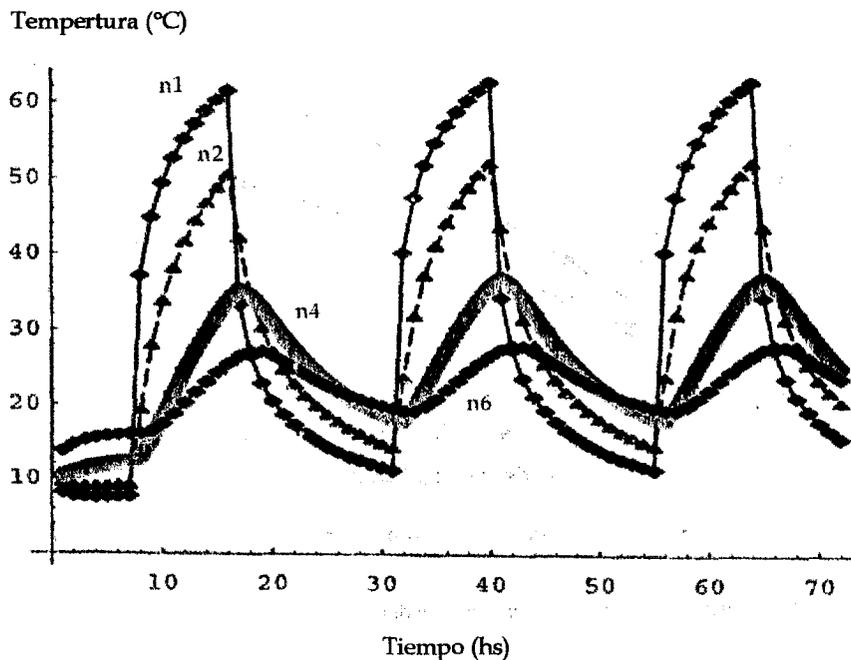


Figura 2: Evolución de las temperaturas de cuatro nodos dentro de un muro de ladrillo

CONCLUSIONES

De la combinación del Mathematica con el Indtherm y las nuevas rutinas resulta una herramienta poderosa para la realización de cálculos exactos y numéricos en el campo de la transferencia de calor en energías renovables. Si bien la parte gráfica quizás no es tan rica ni vistosa como la de las planillas de cálculo conocidas, el hecho de estar integrada en el entorno de programación facilita la rápida visualización de los resultados obtenidos.

El universo de operaciones y funciones disponibles en el Mathematica es muy vasto y permite encarar la mayor parte de los cálculos matemáticos que se plantean en el campo de las energías renovables.

La familiarización con este entorno no resulta sencilla, pero los resultados obtenidos con él constituyen una fuerte motivación para su aprendizaje y aplicación, motivo por el cual se decidió su inclusión en los cursos de la Maestría en Energías Renovables de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNSa.

Por otro lado, se está haciendo uso del mismo en la simulación térmica de invernaderos incluyendo rutinas para la termodinámica del aire húmedo. Una vez que este paquete complementario sea completado, se pondrá a disposición de la comunidad científica para su utilización y ensayo. Se espera que el mismo sea útil para el planteo de problemas térmicos con mayor detalle y flexibilidad que el que permiten otros paquetes de cálculo destinados al campo de las energías renovables.

REFERENCIAS

Wolfram Research Inc. (1988 – 1992). "Mathematica 2.2"

Saravia L. (1998). Notbooks sobre transferencia de calor de la Maestría en Energías Renovables de la UNSa.

Visual Analysis GmbH (1996). "INDUSTRIAL THERMICS, User's Guide", Manual del Usuario del Indtherm.

ASIGNATURA DE GRADO "ENERGIA ELECTRICA Y MEDIO AMBIENTE" CINCO AÑOS DE EVOLUCION

Gustavo Bacino; Oscar Noguera; Claudio Dimenna; Mario Macri
 Departamento de Ingeniería Eléctrica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Mar del Plata
 Av. Juan B. Justo 4302 - (7600) Mar del Plata - Tel. (023) 816600 int. 230 - Fax. (023) 810049
 E-mail: jakemate@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

Después de cinco años de dictado regular, la asignatura Energía Eléctrica y Medio Ambiente, ha experimentado cambios provocados por la necesidad de adaptación de los temas tratados a la realidad. En el presente trabajo se describen los principales cambios de que ha sido objeto, reflejándose a través de sendos diagramas la variación porcentual en el tiempo dedicado a cada unidad temática. Asimismo se indican los temas que han sido incorporados y las modificaciones llevadas a cabo en el sistema de evaluación. Por otra parte se deja latente la posibilidad de que esta evolución continúe en el futuro ya que, dada la característica de los temas tratados, es indudable que el tiempo traerá aparejados cambios que obligarán a realizar modificaciones. Se mantiene, eso sí, el espíritu con el que fue creado esta asignatura, que es el de despertar en el estudiante de Ingeniería Eléctrica una conciencia relacionada con la problemática ambiental vinculada con su futura labor profesional.

INTRODUCCION

En el año 1994 cuando fue propuesta la creación de la asignatura de grado Energía Eléctrica y Medio Ambiente como materia de grado, optativa, para la carrera de Ingeniería Eléctrica, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata, se pretendía lograr en el futuro profesional la creación de una conciencia que contemplara la problemática ambiental vinculada con su formación.

Año a año pudo observarse como este objetivo prioritario se iba cumpliendo, en mayor o menor grado, en los distintos cursos dictados, alcanzando en algunos casos particulares resultados sorprendentes y pudiendo comprobar que, en general, el conocimiento no ya profundo, sino medianamente correcto acerca de la problemática ambiental, está lleno de preconceptos y errores.

DISTRIBUCION ORIGINAL DE TEMAS

La asignatura contemplaba en sus orígenes cinco grandes bloques temáticos, conformando el programa analítico de la misma:

- Unidad 1: Conceptos generales sobre el Medio Ambiente.
- Unidad 2: Evaluación del Impacto Ambiental.
- Unidad 3: Distintas formas de generación de Energía Eléctrica y sus Impactos Ambientales.
- Unidad 4: Aspectos Legales y Económicos
- Unidad 5: Desarrollo Sustentable

En el diagrama siguiente puede observarse la distribución aproximada de tiempo y material dedicado a cada una de las unidades mencionadas.

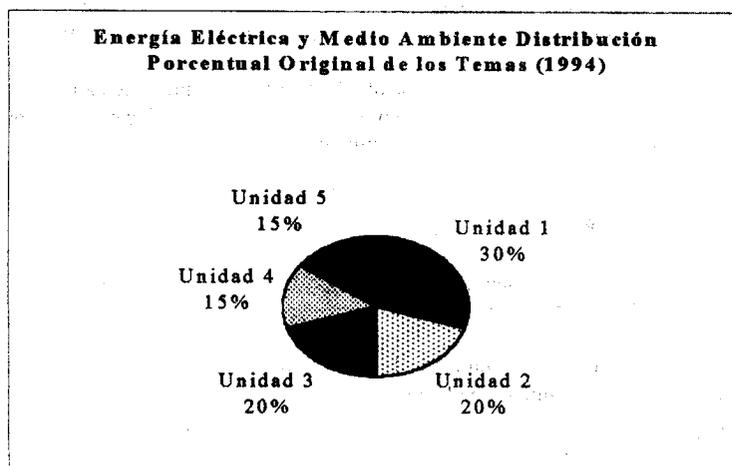


Gráfico 1: Distribución Porcentual Original de los Temas (1994)

Resulta interesante observar la evolución de los distintos temas a lo largo de estos años y de la experiencia acumulada en el contacto con los distintos alumnos y sus respectivas inquietudes, dudas e intereses.

En principio, el bloque correspondiente a Conceptos Generales sobre Medio Ambiente, constituía una parte fundamental y se llevaba un porcentaje importante en el dictado de la asignatura pues en aquel entonces la difusión de temas tales como Efecto Invernadero; Lluvia Acida; Agujero de Ozono o Desertización, por citar sólo los principales, demandaba una exposición más detallada que la que precisa actualmente, dado que los medios de información y divulgación se han encargado de informar y explicar ampliamente sobre estos fenómenos que en la actualidad resultan familiares a todos.

Tanto es así que, difícilmente pase un día sin que tengamos la oportunidad de oír hablar de ellos o leer o ver información al respecto. De allí que poco a poco se fue reduciendo el tiempo dedicado a la exposición de estos temas y modificando la presentación de los mismos.

El segundo bloque, dedicado a la enseñanza de técnicas para la Evaluación de Impacto Ambiental, no ha sufrido grandes modificaciones en cuanto a los temas tratados ni a la forma del dictado ya que es el único de contenido netamente específico con la descripción y aplicación de distintas técnicas destinadas a la realización de este tipo de evaluaciones.

El cambio más apreciable pasa porque la experiencia adquirida en este período, nos permite destacar más aquellos aspectos y metodologías de más probable aplicación así como también las ventajas emanadas del uso de tecnologías informáticas cada vez más desarrolladas y accesibles.

En este punto saltaremos intencionadamente los comentarios destinados al tercer bloque temático, dejándolo para la última parte de esta presentación ya que es el que ha experimentado cambios más significativos a la luz del desarrollo y de la experiencia acumulada.

Con respecto a los aspectos legales y económicos los cambios introducidos apuntan especialmente a la actualización debido a la generación, en este período, de nuevas leyes, decretos y resoluciones que afectan particularmente al desarrollo industrial, principalmente teniendo en cuenta aquellas que modifican el panorama regional y provincial de la industria en general y de la industria eléctrica en particular.

Desde este punto de vista, leyes tales como la N° 11.459/93 de la Provincia de Buenos Aires, que crea la obligación de realizar Evaluaciones de Impacto Ambiental para todo emprendimiento industrial nuevo ó establecido, origina la necesidad de poner en conocimiento de los alumnos este tipo de obligaciones que podrán incidir directamente en su futura labor profesional.

LA EDUCACION AMBIENTAL Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE

En relación a la última unidad temática del programa original, la dedicada al Desarrollo Sustentable o Desarrollo sin Destrucción, la misma ha pasado a ocupar un papel más importante dentro de la Asignatura, debido a la necesidad de la comprensión de esta filosofía de desarrollo en el mundo moderno y principalmente, teniendo en cuenta el futuro escenario de la industria.

Actualmente la idea de medio ambiente se encuentra íntimamente ligada a la de desarrollo de tal forma que «la compleja integración conceptual y pragmática entre desarrollo y medio ambiente se perfila en un desarrollo ambientalmente sano, económicamente viable y socialmente justo» (Jiménez Herrero, 1991).

Esta relación resulta fundamental para entender la "problemática ambiental" y para acercarnos a la idea de un desarrollo humano sostenible que garantice una adecuada calidad de vida para las generaciones actuales y para las futuras.

Por lo tanto, debemos reorientar la Educación Ambiental hacia el desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 1993) de tal forma que medio ambiente, desarrollo sostenible y educación resulten "variables interdependientes" (Díez Hochleitner, 1993).

Sin embargo, de poco sirve la Educación Ambiental si no conduce a la acción responsable, a la participación en la búsqueda y aplicación de soluciones a los problemas relacionados con el medio ambiente y el desarrollo.

De esta manera, mediante la aplicación y explicación detallada de este concepto, que cada día cobra mayor trascendencia no sólo en el presente sino, y fundamentalmente pensando en el futuro, se logra uno los objetivos principales que dieron origen a la creación de esta asignatura que es el de lograr en el futuro profesional de la Ingeniería Eléctrica una conciencia ambiental que se encuentre siempre presente en su desempeño profesional, sea cual fuere el ámbito en el cual la misma se desarrolle.

EDUCACION AMBIENTAL ESPECIFICA PARA INGENIERIA ELECTRICA

Con respecto a la Unidad Temática N° 3, denominada "Distintas formas de generación de energía eléctrica y sus impactos ambientales", su contenido analítico original era el siguiente:

- El problema de la contaminación en las centrales eléctricas convencionales: Térmicas, Hidroeléctricas; Nucleares.
- Estudio de casos específicos mediante la Evaluación del Impacto Ambiental.
- Las fuentes de energía no convencionales: Solar, Eólica, Biomasa y su posible Impacto Ambiental.

Se pretendía y de hecho se pretende, formar al estudiante en estos temas, relacionados estrechamente con la especialidad elegida dentro del campo de la Ingeniería.

En lo relacionado con las centrales térmicas e hidroelécticas la temática relacionada con sus respectivos impactos ambientales asociados a la generación de energía eléctrica por estos medios, ha podido ser tratada con objetividad y amplitud debido a la cantidad y calidad de estudios realizados en ambos casos, empleándose a manera de ejemplos a:

La Central Térmica "9 de Julio" por estar ubicada en la ciudad de Mar del Plata, sede de esta Universidad y a la Central Térmica Costanera, ubicada en la ciudad de Buenos Aires, debido al abundante material existente originado en estudios de contaminación y emisión de la misma.

La Central Hidroeléctrica de Yaciretá, cuya puesta en marcha ocurrió precisamente en estos últimos años y sobre la que se pudo obtener abundante información relacionada y que facilitó la discusión productiva en clase.

Es relevante destacar que se aprovecharon estas circunstancias para analizar las diferencias existentes en la realización de evaluaciones de impacto, en las etapas de proyecto, construcción y puesta en marcha de una central, analizando las distintas posibilidades que ofrece cada situación para la posible implementación de medidas correctoras.

Con respecto a las Centrales Nucleares, la situación es distinta ya que, el origen de la información condiciona el contenido de la misma y es sabido que, en general, no existen términos medios en los planteos con respecto a esta fuente de generación de energía eléctrica.

El tratamiento en clase, permite comprobar que existe un consenso mayoritario en el sentido que los potenciales peligros asociados a la generación núcleo-eléctrica, ponen seriamente en duda la continuidad de la explotación de esta forma de generación.

La tercera y última parte de esta unidad es, posiblemente la que ha experimentado un cambio más significativo en los últimos años. Presenta serios inconvenientes por la dificultad para obtener información fidedigna y objetiva, por lo que se ha tratado de plantear el tema de la forma más abierta posible, generando el análisis y el debate en clase, a fin de obtener conclusiones propias por parte del alumno.

Es un capítulo abierto en el terreno de la educación relacionada con la problemática ambiental y con las energías renovables que, a medida que estas últimas continúen desarrollándose y aplicándose de forma cada vez más masiva, se aportarán con seguridad nuevos datos que permitan establecer cuanto hay de realidad y cuanto de intereses creados en este aspecto.

Uno de los cuestionamientos más frecuentemente planteados por los alumnos pasa por el hecho de, por qué preocuparse por la contaminación asociada con las fuentes renovables de energía siendo que la incidencia actual en la producción mundial de energía de las mismas es mínima y su aplicación principal está asociada con emprendimientos localizados no contribuyendo en general a la llamada generación de base.

La respuesta surge del debate, pues para todos resulta claro que en vías de agotarse en un plazo no conocido con exactitud, aunque no lejano en término de generaciones, los hidrocarburos en todas sus formas conocidas y el temor asociado con la intrínseca peligrosidad de la hipoteca nuclear, será necesario un empleo más intensivo de nuevas fuentes energéticas más eficientes, sustentables y de menores, aunque seguramente no nulos, niveles de contaminación.

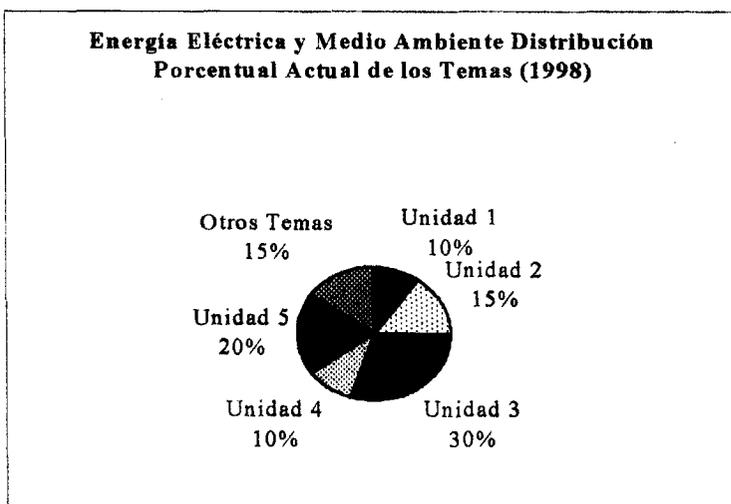


Gráfico 2: Distribución Porcentual Actual de los Temas (1998)

Dado que las ventajas asociadas a este tipo de generación resultan prácticamente evidentes, deben destacarse las desventajas que afectan en particular su utilidad y eficiencia económica, relacionadas con su intermitencia y la inexistencia de formas efectivas y económicas de almacenamiento.

En otro orden de cosas, han sido incorporados a la Asignatura, en algunos casos producto de la demanda de los propios alumnos, temas relacionados tales como: la contaminación por ruido; la contaminación urbana, la contaminación de origen electromagnético y la problemática de los residuos en general, con lo cual se logra una formación más integral.

El diagrama anterior refleja la distribución actual de las distintas unidades temáticas, resultando evidente la evolución producida y los cambios que se han indicado más arriba.

METODOLOGIA DE ENSEÑANZA Y REGIMEN DE EVALUACION

Con respecto a la metodología de enseñanza, se pone a disposición del alumno, gran cantidad de material impreso, el que es objeto de actualización permanente dada las características especiales de la materia. Asimismo se utiliza material visual en forma de transparencias y videos y, últimamente ha comenzado a experimentarse con un recurso que promete ser de gran aplicabilidad como son las búsquedas sistemáticas a través de Internet.

La evaluación, que en principio se realizaba principalmente a través de trabajos monográficos elaborados por los alumnos, sobre temas propuestos por ellos mismos o por la cátedra, se ha ido modificando y adaptando y en la actualidad incluye también evaluaciones escritas convencionales y del tipo de elección múltiple ya que ha resultado evidente que las mismas condicionan al alumno a una lectura más detenida y profunda del material de estudio.

Para finalizar es importante destacar el valioso aporte recibido por parte de profesionales de la ingeniería eléctrica especializados en temas tales como las Centrales Eléctricas, las Máquinas Eléctricas y las Energías Renovables, que ha servido para enriquecer los contenidos en algunos aspectos puntuales, relacionados con la especialidad eléctrica.

BIBLIOGRAFIA

- CONESA FERNANDEZ, V. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid 1995.
- DOMÉNECH, X. Química Ambiental. El Impacto Ambiental de los Residuos. Miraguano Ediciones. Madrid 1993.
- KAMAL TOLBA, M. Desarrollo sin Destrucción. Ediciones del Serbal. Barcelona 1982.
- GUHL N., E. Medio Ambiente y Desarrollo. Ediciones Uniandes. Colombia 1993.
- DELEAGE, J. P. y SOUCHON, C. La Energía: Tema Interdisciplinar para la Educación Ambiental. UNESCO 1991.

COMPARACIÓN DE MODELOS PARA EL CÁLCULO DE LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA INCIDENTE EN EL PLANO HORIZONTAL

Luis L. Altamirano¹, Enrique D. Albizzati¹, Orlando M. Alfano²

1 Facultad de Ingeniería Química (UNLitoral) - Stgo. del Estero 2654 -3000-
Santa Fe - Argentina - Fax: 042-571162 - E-mail: aleo@fiquis.unl.edu.ar

2 INTEC (CONICET-UNLitoral) - Güemes 3450- 3000 - Santa Fe - Argentina

RESUMEN

Se comparan dos modelos teóricos (Gueymard, 1995 y Bird y Riordan, 1986) para predecir la radiación solar ultravioleta al mediodía en días típicos de cielo límpido sin nubosidad para Santa Fe, Argentina. Se hallan los valores de la radiación global, directa y difusa, y de cada una de las componentes de ésta originadas en las dispersiones de Rayleigh, de aerosol y la reflexión aire-suelo. Con los resultados de ambos modelos se verifica que no hay diferencias notables en la radiación directa, especialmente para los rangos UVA y UVT. En cambio, los valores de radiación difusa predichos por Gueymard superan a los de Bird y Riordan, excepto en el UVB y para un elevado ángulo cenital. Con ambos modelos se comprueba que existe una muy importante contribución de la radiación difusa, siendo inferior a la radiación directa solo en el UVA y UVT para un bajo ángulo cenital.

INTRODUCCIÓN

Resulta de gran interés para el hombre el conocimiento de la variación de la radiación ultravioleta (UV) incidente sobre la superficie terrestre. En la actualidad se estudian tanto los efectos perjudiciales que acusa el aumento de la radiación UV sobre los seres vivos y los materiales, como sus aplicaciones para la degradación de especies químicas en procesos fotolíticos (Rossetti y colab., 1998) y fotocatalíticos (Cabrera y colab., 1997). Dadas las dificultades que se presentan para realizar mediciones de la radiación solar UV, tales como la confiabilidad, costo y mantenimiento del instrumento necesario, resulta muy conveniente disponer de modelos teóricos con el fin de predecir la radiación solar UVB (290-315nm), UVA (315-400nm) y UVT (290-400nm).

En este trabajo se aplican los modelos teóricos propuestos por Gueymard (1995) y Bird y Riordan (1986) para estimar la radiación solar global y sus componentes directa y difusa sobre el plano horizontal. Los cálculos son válidos en condiciones de cielo claro y sin nubes, para el ámbito rural cercano a la ciudad de Santa Fe, Argentina.

Al comparar ambos modelos se analizan además de las componentes directa y difusa, las que contribuyen al valor de esta última, debidas a la dispersión de Rayleigh, de aerosoles, y a la reflexión entre el aire y el suelo.

Debe hacerse notar que el modelo de Gueymard ha sido desarrollado poniendo especial atención en los rangos de radiación solar UV y visible, habiéndose verificado su comportamiento a través de modelos de transferencia radiativa en la atmósfera y de mediciones realizadas con espectrorradiómetros. Por dicho motivo, se toma este modelo como referencia para llevar a cabo las comparaciones realizadas en este trabajo.

MODELOS PARA LA PREDICCIÓN

La predicción de la radiación solar UV sobre la superficie terrestre en días de cielo límpido sobre el plano horizontal se realiza con los modelos espectrales de Gueymard (1995) y Bird y Riordan (1986). Éste último ya ha sido aplicado con algunas modificaciones, por los autores de este trabajo en todo el espectro solar (Albizzati y colab., 1997), y en el rango ultravioleta solar (Piacentini y colab., 1997).

El espectro original de Bird y Riordan tiene un rango de 5 nm hasta la longitud de onda de 350 nm, de 10 nm hasta 570 y luego posee intervalos variables con solo 122 puntos de cálculo en todo el espectro solar. Este modelo incluye para el rango UV un factor de corrección menor a la unidad que ajusta los valores de la radiación solar difusa y que crece a medida que aumenta la longitud de onda.

En el modelo de Gueymard se han introducido una serie de mejoras que lo distinguen entre los denominados modelos simples o "parametrizados". Entre las más importantes se destaca la utilización de un espectro solar extraterrestre con intervalos de 1 nm entre 280 y 1700 nm e intervalos de 5 nm entre 1700 y 4000 nm, lo que incrementa la resolución espectral en los cálculos de la radiación y transmitancia atmosférica. Además incluye funciones más exactas para los procesos de extinción en la atmósfera, considerando los efectos de la temperatura y de la humedad en la estimación de los parámetros, y valores muy exactos de los coeficientes de absorción en base a datos espectroscópicos recientes. Finalmente, por primera vez se incluye el dióxido de nitrógeno como especie química absorbente en este tipo de modelos, compuesto que absorbe radiaciones de longitudes de onda menores a 700 nm.

En ambos modelos la radiación solar global incidente sobre la superficie horizontal ($I_{G,\lambda}$) es la suma de la radiación directa normal ($I_{DN,\lambda}$) multiplicada por el coseno del ángulo cenital (θ_z), y la radiación difusa ($I_{d,\lambda}$):

$$I_{G,\lambda} = I_{DN,\lambda} \cos \theta_z + I_{d,\lambda} \quad (1)$$

La radiación directa normal (I_{DN}), es calculada a partir de la radiación solar extraterrestre normalizada ($H_{O,\lambda}$) y de las transmitancias de la atmósfera, que incluyen los siguientes procesos: dispersión Rayleigh ($T_{r,\lambda}$), dispersión y absorción de aerosoles ($T_{a,\lambda}$), y absorción del ozono ($T_{O,\lambda}$), del vapor de agua ($T_{w,\lambda}$), de otros gases también presentes en la atmósfera ($T_{u,\lambda}$) y del dióxido de nitrógeno ($T_{N,\lambda}$). Un factor relacionado con la distancia sol - tierra (D), que es independiente de la longitud de onda, corrige el valor de la radiación extraterrestre según la época del año. En el modelo de Bird y Riordan la transmitancia debido al dióxido de nitrógeno ($T_{N,\lambda}$) no es considerada.

$$I_{DN,\lambda} = H_{O,\lambda} D T_{r,\lambda} T_{a,\lambda} T_{w,\lambda} T_{O,\lambda} T_{u,\lambda} T_{N,\lambda} \quad (2)$$

La radiación difusa ($I_{d,\lambda}$) se obtiene como la suma de la componente de dispersión de Rayleigh ($I_{r,\lambda}$), la dispersión de aerosoles ($I_{a,\lambda}$), y la componente de múltiple reflexión aire - tierra ($I_{g,\lambda}$):

$$I_{d,\lambda} = I_{r,\lambda} + I_{a,\lambda} + I_{g,\lambda} \quad (3)$$

En cada uno de los modelos se emplean funciones propias para evaluar las transmitancias de los componentes atmosféricos; el modelo de Gueymard particularmente considera una transmitancia efectiva del ozono en la evaluación de la radiación difusa de Rayleigh y de aerosol.

Para calcular la radiación en el UVB, UVA y UVT, los resultados teóricos para cada longitud de onda se integran numéricamente en el espectro deseado con el fin de calcular la radiación solar en forma instantánea.

PARÁMETROS DE LOS MODELOS

Para comparar los modelos teóricos se han fijado dos condiciones típicas, los días 21 de junio y 21 de diciembre al mediodía solar. La localización geográfica corresponde a los alrededores de la ciudad de Santa Fe, en un ámbito rural y sin nubes.

Tabla 1. Condiciones y parámetros de cálculo.

Día	θ_z (°)	HR(%)	T(°C)	P(mb)	O ₃ (atm-cm)	NO ₂ (atm-cm)	β	α_1	α_2	$\tau_{0,5}$
21/06	55,1	50	20	1010	0,275	0,0001	0,05	0,931	1,431	0,135
21/12	8,2	70	30	1010	0,275	0,0002	0,10	0,917	1,423	0,268

En la Tabla 1 se muestran los parámetros más relevantes usados en el cálculo. La humedad relativa (HR), la temperatura (T) y la presión (P) son característicos de la zona en esa época del año. El cálculo del espesor de la capa de ozono se realizó con la fórmula de Piacentini (1992) aplicada para el presente año, mientras que el valor para el dióxido de nitrógeno (NO₂) se extrajo de Gueymard (1995).

Con respecto a los parámetros relacionados con la extinción producida por los aerosoles atmosféricos, se adoptó un valor del coeficiente de la fórmula de Ångström correspondiente a cielo muy claro, para el día 21 de junio ($\beta = 0,05$) y a cielo claro, para el día 21 de diciembre ($\beta = 0,10$). El valor del exponente α involucrado en dicha fórmula, según la propuesta de Gueymard (1995), posee valores diferenciados: α_1 en las longitudes de onda menores a 500 nm, y α_2 en las longitudes de onda mayores a 500 nm. Los valores de la turbidez atmosférica calculados fueron: $\tau_{0,5} = 0,135$ para junio y $\tau_{0,5} = 0,268$ para diciembre.

Otros parámetros propuestos por el modelo por Bird y Riordan son: albedo de dispersión de aerosol a la longitud de onda 400 nm ($\omega_{0,4} = 0,945$), el exponente para hallar su variación espectral ($\omega = 0,095$) y el factor de asimetría de aerosol ($\langle \cos\theta \rangle = 0,65$). El modelo de Gueymard estima los parámetros utilizando el modelo de Shettle y Fenn (1979) para aerosol rural, que contempla, además de la longitud de onda, su dependencia con la humedad ambiental. Los valores medios obtenidos por este modelo son $\omega = 0,945$ y $\langle \cos\theta \rangle = 0,688$ en todo el rango UV.

RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN

La computación de la radiación UV en las condiciones especificadas se realiza en los intervalos UVB (290-315 nm), UVA (315-400 nm) y UVT (290-400 nm). En ambos modelos se usó el espectro solar extraterrestre con un intervalo de 1 nm y los coeficientes de absorción en el UV propuestos por Gueymard (1995). Los resultados predichos por los modelos "parametrizados" se muestran en la Figura 1 (radiación solar global, directa y difusa). Las tendencias detectadas en el UVT se reflejan en el UVA, por lo cual se representan solamente los espectros UVB y UVA.

Como puede esperarse, los valores de radiación global UVB, UVA (y por lo tanto UVT) que se estiman para el 21 de diciembre, superan notablemente a los estimados para el 21 de junio, siendo determinantes los siguientes factores: un ángulo cenital menor y la existencia de una menor distancia entre la Tierra y el Sol.

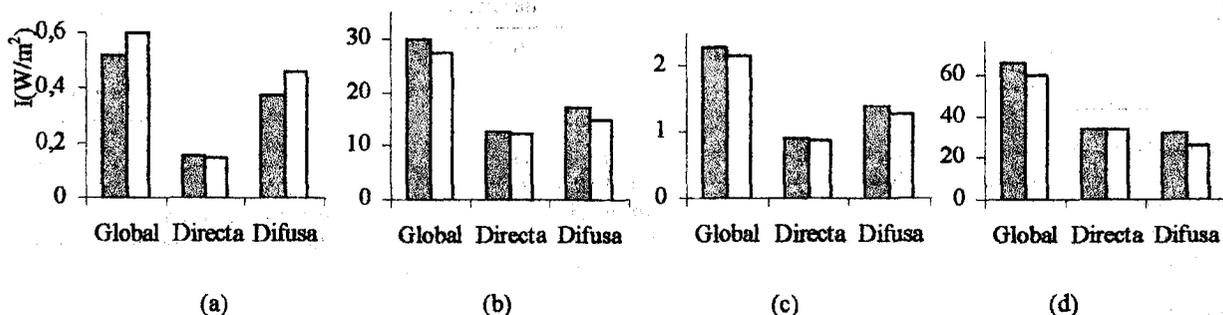


Figura 1. Radiación solar UV calculada con los modelos de Gueymard y Bird y Riordan :
 (a) 21 / 06 UVB, (b) 21 / 06 UVA, (c) 21 / 12 UVB, (d) 21 / 12 UVA.

La radiación UVB global tiene un mínimo de $0,52 \text{ W/m}^2$ según el modelo de Gueymard para el mes de junio, y un máximo de $2,30 \text{ W/m}^2$ para el mes de diciembre. La radiación UVA global alcanza con el mismo modelo y para los mismos meses, $30,1 \text{ W/m}^2$ y $65,6 \text{ W/m}^2$, respectivamente.

Se observa en la figura que no existe una importante diferencia en los valores predichos de radiación solar directa para el rango UVA, pero que es más significativa la diferencia relativa en el UVB para el 21 de junio (ángulo cenital más alto y menor turbidez). En todos los casos la radiación directa calculada con el modelo de Gueymard supera a la de Bird y Riordan.

Las predicciones efectuadas para la radiación solar difusa muestran una importante discrepancia entre los modelos, tanto en el UVB como en el UVA. Las diferencias que se perciben afectan asimismo los valores de la radiación solar global, puesto que la contribución de la componente difusa es muy significativa (en el UVB supera siempre a la directa y en el UVT y UVA es mayor a la directa el 21 de junio y es menor el 21 de diciembre).

Para proceder a investigar la incidencia de las componentes de la radiación difusa predicha por los modelos, se vuelcan los valores de cada una de ellas en la Figura 2. La componente debida a la dispersión de Rayleigh supera a la componente de dispersión debida a los aerosoles y a la de reflexión aire-suelo en ambos modelos y en todos los casos considerados. La componente de reflexión aire-suelo presenta en general valores inferiores al resto de las componentes, excepto en el UVB el día 21 de junio.

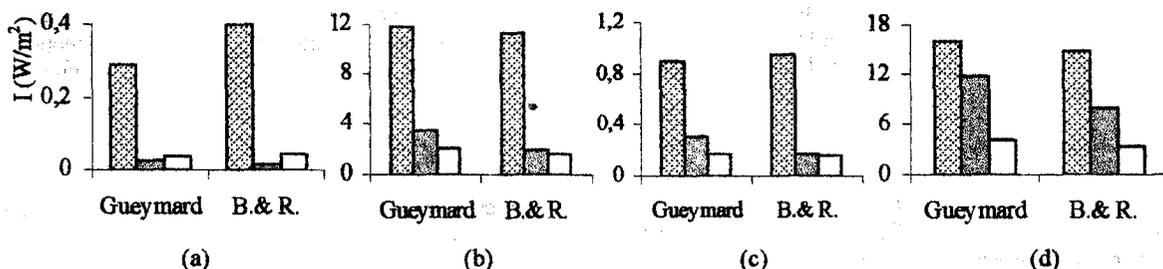


Figura 2. Componentes de la radiación solar UV difusa calculada con los modelos de Gueymard y Bird y Riordan.
 Componentes: Rayleigh , de aerosol , reflexión aire - suelo .
 (a) 21 / 06 UVB, (b) 21 / 06 UVA, (c) 21 / 12 UVB, (d) 21 / 12 UVA.

El modelo de Bird y Riordan subestima la componente de aerosol para los dos ángulos cenitales y cualquier rango de longitudes de onda en el UV. Los resultados alcanzados al calcular las componentes de dispersión de Rayleigh y de reflectancia aire-suelo indican que la tendencia anterior se mantiene en el UVA. Sin embargo, en el espectro UVB Gueymard predice valores de la componente de Rayleigh menores a los de Bird y Riordan. En este rango también el último modelo citado predice un valor algo superior de la componente de reflexión cuando es más grande el ángulo cenital.

Tabla 2. Relaciones entre componentes de la radiación solar UVB (290-315 nm).

Día	R.Directa / R.Global		C. Rayleigh / R. Difusa		C. Aerosol / R. Difusa		C.Reflexión / R. Difusa	
	Gueymard	B. & R.	Gueymard	B. & R.	Gueymard	B. & R.	Gueymard	B. & R.
21/06	0,290	0,240	0,784	0,871	0,081	0,033	0,108	0,098
21/12	0,396	0,413	0,640	0,743	0,223	0,137	0,129	0,120

Tabla 3. Relaciones entre componentes de la radiación solar UVA (315 - 400 nm).

Día	R.Directa / R.Global		C. Rayleigh / R. Difusa		C. Aerosol / R. Difusa		C.Reflexión / R. Difusa	
	Gueymard	B. & R.	Gueymard	B. & R.	Gueymard	B. & R.	Gueymard	B. & R.
21/06	0,420	0,458	0,676	0,767	0,205	0,128	0,119	0,105
21/12	0,510	0,560	0,502	0,567	0,369	0,302	0,130	0,131

En las Tablas 2 y 3 se reproducen relaciones entre las distintas componentes de la radiación solar estimada con ambos modelos. La relación entre la radiación directa y la global en el UVB es menor que en el UVA, aumentando por lo tanto a menor longitud de onda la importancia de la componente difusa. Dicha relación es menor a mayor ángulo cenital, aunque en estas condiciones se ha considerado menor turbidez atmosférica. Sólomente para el caso de radiación UVA y el menor ángulo cenital, la contribución de la radiación directa supera a la difusa (valor mayor al 50% en la Tabla 3).

En relación con las componentes de la radiación difusa, la componente de Rayleigh supera siempre a la suma de las correspondientes a aerosoles y reflexión aire-suelo. La componente Rayleigh tiene mayor importancia a mayor ángulo cenital (21 de junio) y menor turbidez atmosférica (menor dispersión de aerosoles); este comportamiento es más acentuado para la radiación UVB. La contribución debida a los aerosoles aumenta al decrecer el ángulo cenital (21 de diciembre) y naturalmente al crecer la turbidez, siendo más significativa su incidencia sobre la radiación difusa en el UVA.

CONCLUSIONES

- ◆ El modelo de Bird y Riordan es más simple que el de Gueymard, tanto en la carga de datos como en sus algoritmos de cálculo internos. En cambio, el modelo de Gueymard posee funciones muy exactas para los fenómenos de extinción y mayor cantidad de alternativas para evaluar los parámetros de cálculo, por lo que resulta más completo y actualizado, y por lo tanto más confiable, en el rango UV solar.
- ◆ Empleando en ambos modelos el espectro extraterrestre y los coeficientes de absorción propuestos por Gueymard, no se observan diferencias notables en las predicciones de la radiación directa, aunque el modelo de Bird y Riordan estima valores menores que el de Gueymard.
- ◆ Los valores de la radiación difusa predichos por Gueymard son mayores a los de Bird y Riordan, excepto en el UVB para elevados ángulos cenitales.
- ◆ En las condiciones analizadas en este trabajo, el modelo de Bird y Riordan subestima la componente de aerosol en todos los intervalos de radiación UV.
- ◆ Se comprueba que en ambos modelos existe una mayor contribución de la radiación difusa al valor de la radiación global, excepto en el UVA con un bajo ángulo cenital donde ambos valores se equiparan. Además, la componente de Rayleigh supera siempre a la suma de las componentes de aerosol y de reflexión aire-suelo, tanto en el UVB como en el UVA y UVT.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional del Litoral (Beca de Iniciación en la Investigación y financiamiento del Proyecto CAID 96 N° 116/017) y al CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) por la colaboración recibida para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Albizzati E.D., Rossetti G.H. y Alfano O.M. (1997) Measurements and predictions of solar radiation incident on horizontal surfaces at Santa Fe, Argentina (31°39'S, 60°43'W). *Renewable Energy*, 11, 4, 469-478.
- Bird, R.E. y Riordan C. (1986) Simple solar spectral model for direct and diffuse irradiance on horizontal and tilted planes at the earth's surface for cloudless atmospheres, *J. Climate Appl. Meteor.*, 25, 1, 87-97.
- Cabrera M.I., Negro A.C., Alfano O.M. y Cassano A.E. (1997), Photocatalytic reactions involving hydroxyl radical attack II: kinetics of the decomposition of trichloroethylene using titanium dioxide, *J. Catal.*, 172, 2, 380-390.
- Gueymard C.A.(1995) SMARTS2, A simple model of the atmospheric radiative transfer of sunshine. Professional Paper FSEC-PF-270-95. Florida Solar Energy Center, Cocoa, FL, USA.
- Piacentini, R.D., Alfano O.M. y Albizzati E.D.(1997) Radiaciones ultravioletas solares global y difusa: mediciones y modelación en el periodo agosto 1995 - mayo 1997 para Rosario (Argentina), *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 1, 1, 181-184.
- Piacentini, R.D.(1992) Comportamiento espacio-temporal de la capa de ozono para latitudes bajas e intermedias (50°N, 50°S), Congreso de la Asociación de Geofísicos y Geodestas, Buenos Aires, Argentina.
- Rossetti G.H., Albizzati E.D. y Alfano O.M.(1998) Modeling and experimental verification of a flat-plate solar photoreactor, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 37, 9, 3592-3601.
- Shettle E.P. y Fenn R.W. (1979) Models for the aerosols of the lower atmosphere and the effects of humidity variations on their optical properties. Rep. AFGL-TR-79-0214, Air Force Geophysics Lab., Hanscom, MA, USA.

RADIACIÓN SOLAR INSTANTÁNEA Y HORARIA SOBRE PLANOS INCLINADOS PREDICCIONES TEÓRICAS Y DETERMINACIONES EXPERIMENTALES

Luis L. Altamirano¹, Rodolfo P. León¹, Enrique D. Albizzati¹, Orlando M. Alfano²

1 Facultad de Ingeniería Química (UNLitoral) - Stgo. del Estero 2654 -3000-
 Santa Fe - Argentina - Fax: 042-571162 - E-mail: aleo@fiqus.unl.edu.ar

2 INTEC (CONICET-UNLitoral) - Güemes 3450 - 3000 - Santa Fe - Argentina. FAX : 042-550944

RESUMEN

Se emplean modelos teóricos en la predicción de la radiación solar incidente sobre superficies inclinadas para la ciudad de Santa Fe, Argentina en días de cielo sin nubes. Los resultados de la aplicación de cuatro modelos para estimar la radiación global y difusa sobre las superficies inclinadas se comparan con funciones que aproximan las determinaciones experimentales. Las comparaciones se efectúan con datos de la radiación solar instantáneos e integrados en una hora. Se calculan errores absolutos y relativos para testear los modelos teóricos. Con ángulos de inclinación a 15° y 30° el modelo isotrópico subestima en forma significativa valores de la radiación, mientras que los modelos anisotrópicos presentan en general un buen acuerdo con las mediciones. El modelo de Hay y Davies tiene mínimo valor de la raíz cuadrada del error cuadrático medio para la radiación solar global y difusa, evaluadas tanto en forma instantánea como horaria.

INTRODUCCIÓN

En Argentina las mediciones de radiación solar más frecuentes son sobre superficies horizontales siendo escasos los datos sobre superficies inclinadas. Cuando el propósito que se persigue es conocer la intensidad de la radiación solar incidente sobre un plano receptor, y su variación según la posición del sol y el tiempo, los modelos de estimación de la radiación son una alternativa importante. Los modelos teóricos realizan el cómputo de la radiación solar en todo el espectro por medio de dos componentes: la radiación solar directa y la difusa, siendo la suma de estas dos la radiación global recibida sobre el plano. Estos modelos están restringidos a días de cielo claro o con baja nubosidad han sido verificados para el plano horizontal (Bird y Riordan, 1986).

En este trabajo se analizan cuatro modelos teóricos para obtener la radiación solar incidente sobre planos inclinados (Duffie y Beckman, 1991). Los modelos son: Isotrópico, Hay y Davies, Reindl et al. y Perez et al., los cuales se diferencian en el método de evaluación de la radiación solar difusa. Además se presentan determinaciones experimentales de la radiación global y difusa sobre superficies planas horizontal e inclinadas, efectuadas desde el medio día hasta el atardecer en días de cielo sin nubes en Santa Fe, Argentina. El objetivo es la estimación teórica y la medición de radiación solar sobre planos inclinados, la aplicación de elementos estadísticos como método de comparación entre valores medidos y determinados con los modelos, y la interpretación de los resultados haciendo uso de los valores instantáneos y horarios de la radiación solar determinada experimentalmente.

PREDICCIÓN TEÓRICA DE LA RADIACIÓN

La radiación solar global incidente sobre un plano inclinado un ángulo t respecto a la horizontal es la suma de la radiación directa y la difusa :

$$I_{GT,\lambda} = I_{DN,\lambda} \cos \theta_i + I_{dT,\lambda} \quad (1)$$

El ángulo de incidencia de la radiación directa sobre el plano es (θ_i). Con el modelo espectral publicado por Bird y Riordan (1986) se calcula la radiación directa normal (I_{DN}), a partir de la radiación solar extraterrestre ($H_{0,\lambda}$) y de las transmitancias de la atmósfera, que incluyen los siguientes procesos: dispersión Rayleigh ($T_{r,\lambda}$), dispersión y absorción de aerosol ($T_{a,\lambda}$), y absorción del ozono ($T_{o,\lambda}$), del vapor de agua ($T_{w,\lambda}$) y de otros gases también presentes en la atmósfera ($T_{u,\lambda}$). Un factor relacionado con la distancia sol - tierra (D) corrige el valor de la radiación extraterrestre según la época del año:

$$I_{DN,\lambda} = H_{0,\lambda} D T_{r,\lambda} T_{a,\lambda} T_{w,\lambda} T_{o,\lambda} T_{u,\lambda} \quad (2)$$

Para el cálculo de la radiación difusa sobre superficies inclinadas ($I_{dT,\lambda}$) existe el modelo isotrópico y los modelos anisotrópicos (Duffie y Beckman, 1991). En este trabajo se emplea el criterio expuesto por Bird y Riordan (1986) aplicando los modelos para evaluar la radiación solar sobre planos inclinados en cada banda del espectro y en un instante de tiempo, aunque originalmente estos modelos fueron empleados para valores horarios de radiación solar.

El modelo isotrópico considera que la superficie recibe desde el cielo el mismo valor de radiación (sin depender de la dirección); la radiación difusa es la suma de esta componente denominada isotrópica y la componente originada en la reflexión de la radiación en el suelo. Los modelos anisotrópicos consideran que la radiación difusa tiene múltiples componentes, además de la radiación reflejada. El modelo de Hay y Davies estima la radiación difusa como la suma de una componente circumsolar que tiene la misma dirección que la radiación directa, y las componentes isotrópica y reflejada antes referidas. Otro modelo utilizado es el de Reindl et al. que agrega el término de brillo de horizonte a los términos contemplados en el modelo de Hay y Davies. Finalmente, el modelo de Perez et al. estima con formulaciones propias las componentes isotrópica, reflejada, circumsolar y otra de brillo de horizonte involucradas en el cálculo de la radiación difusa.

Los resultados teóricos obtenidos son valores de radiación para cada longitud de onda. Por lo tanto al utilizarlos se procede a integrar los valores calculados en el caso que se realizan las estimaciones en forma instantánea. Luego, para hallar valores horarios se integran en este período los valores predichos para cada instante, mediante el método numérico de Simpson.

MEDICIONES Y PARÁMETROS DE CÁLCULO

Las mediciones de la radiación global sobre superficie inclinada se realizaron con un piranómetro Eppley, modelo Black & White. Para efectuar las mediciones de la radiación solar difusa inclinada se utilizó el piranómetro Kipp & Zonen con una banda sombreadora (modelo CM 11/121). Esta banda impide la incidencia de toda la radiación solar directa y de una pequeña fracción de la radiación solar difusa, por lo que los valores experimentales fueron corregidos con factores propuestos por el fabricante. Las mediciones se realizaron bajo condiciones de cielo sin nubes. Las determinaciones se efectuaron desde el mediodía solar hasta la puesta del sol. Los valores de la humedad relativa ambiente promedio oscilaron entre 60 y 62%, y las temperaturas promedio entre 25 y 29°C. Ambas variables se midieron simultáneamente con la radiación solar, empleando un termohigrómetro portátil Hanna, modelo HI 8564.

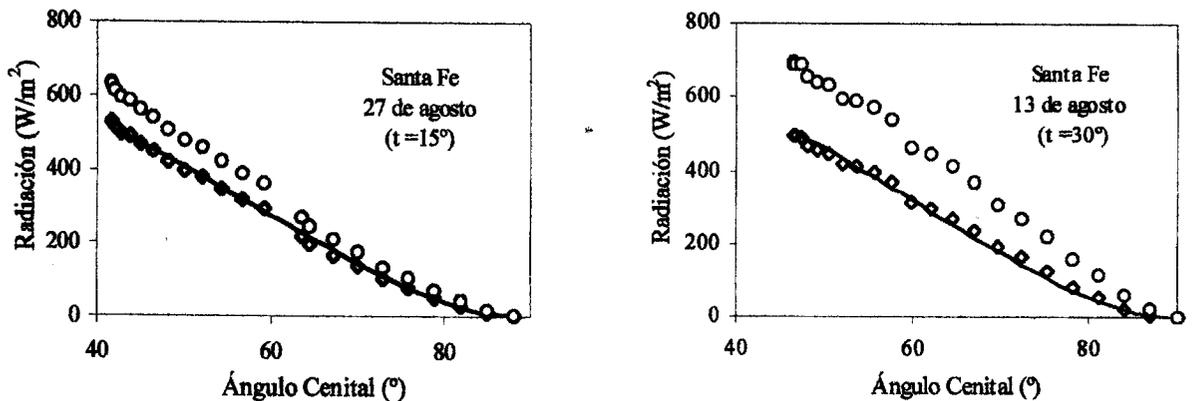


Figura 1 : Radiación Solar Directa calculada con datos experimentales (o Inclinada, \diamond Horizontal) y calculada con el Modelo de Bird y Riordan (—)

En relación con los parámetros de cálculo, para hallar el coeficiente de turbidez de Ångström (β) con los valores de la radiación solar global y difusa medidos sobre planos inclinados a 15° y 30°, se calculan por diferencia los valores de la radiación solar directa incidente en estas superficies (I_{DT}^*) y se proyectan dichos valores sobre el plano horizontal (I_D^*), conocidos el ángulo cenital (θ_z) y el ángulo de incidencia de la radiación sobre el plano inclinado :

$$I_D^* = I_{DT}^* (\cos \theta_z / \cos \theta_i) \quad (3)$$

Luego se aplica el modelo de Bird y Riordan (1986) para encontrar la radiación solar teórica sobre la superficie horizontal (I_D) y con un método numérico de estimación de parámetros para sistemas no lineales se halla el valor del coeficiente β (Altamirano et al., 1996). Se computa una función objetivo que incluye las diferencias entre la radiación directa teórica y la calculada con los datos experimentales, que se muestran en la Figura 1. El valor del coeficiente de turbidez se corresponde con el valor mínimo de dicha función objetivo.

Con el método de estimación de parámetros se obtiene $\beta = 0.103$ para el día 13 de agosto y $\beta = 0.154$ para el día 27 de agosto. Estos valores prácticamente coinciden con los propuestos por Iqbal (1983) para días de cielo claro ($\beta = 0.10$) y cielo algo turbio ($\beta = 0.15$), con un valor de $\alpha = 1.3$ para el exponente de la fórmula de Ångström. Para el cálculo teórico de la radiación solar en las superficies inclinadas se emplea la turbidez atmosférica en la longitud de onda 0.5 μm ($\tau_{0.5}$); a partir de los valores de α y β referidos se encuentra que $\tau_{0.5} = 0.380$ (plano inclinado a 15°) y $\tau_{0.5} = 0.252$ (plano inclinado a 30°).

Otros parámetros utilizados en los modelos son: la presión atmosférica ($P = 1010$ mb), el albedo de dispersión de aerosol a la longitud de onda 0.4 μm ($\omega_{0.4} = 0.815$) y su factor de variación con la longitud de onda ($\omega' = 0.095$), fijados según los valores propuestos por Gueymard (1989). El factor de asimetría de aerosol ($\langle \cos \theta \rangle = 0.95$) se adopta según lo propuesto por Bird y Riordan (1986), y el espesor de la capa de ozono (288 unidades Dobson) en función de la latitud del lugar, el mes y el año

según la fórmula de Piacentini (1992). El vapor de agua precipitable en la atmósfera (w), fue calculado según la fórmula de Leckner (1978), dependiendo de la temperatura y de la humedad relativa ambiente medidas. Sus valores son: $w=3,32\text{cm}$ (día 13 de agosto) y $w=4,08\text{cm}$ (día 27 de agosto).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se observa que los valores experimentales de la radiación solar global disminuyen fuertemente al crecer el ángulo cenital, mientras que es mucho menos pronunciada la caída de la radiación solar difusa. Cuando el ángulo de inclinación del plano es 15° , para un ángulo cenital $\theta_z=50^\circ$ el cociente entre la radiación difusa y global incidente es 0,28, mientras que la relación entre la radiación global sobre el plano inclinado y la radiación global horizontal es igual a 1,18. Si el ángulo cenital es 70° las relaciones anteriores valen 0,41 y 1,22 respectivamente.

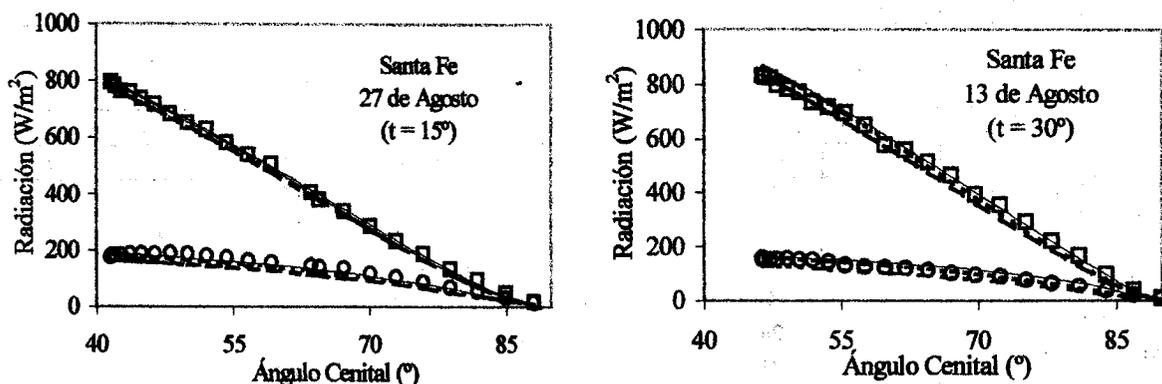


Figura 2 : Radiación solar experimental (\square Global, \circ Difusa) y teórica (..... Mod. Reindl et al. y Hay y Davies, - - - - Mod. Isotrópico, _____ Mod. Perez et al.)

Al analizar las mediciones sobre el plano posicionado a 30° se visualiza que disminuyen los cocientes entre la radiación difusa y la global a 0,20 ($\theta_z=50^\circ$) y 0,24 ($\theta_z=70^\circ$). Asimismo crecen los cocientes entre la radiación solar global inclinada y horizontal; cuando el ángulo cenital es 50° la relación vale 1,33 y si dicho ángulo es 70° trepa a 1,54. Las variaciones encontradas entre $t = 15^\circ$ y $t = 30^\circ$, se originan tanto en la posición del plano receptor, pues a mayor ángulo de inclinación es menor el ángulo de incidencia de la radiación directa y es mayor la radiación recibida por la superficie, como en el hecho que cuando se efectuaron las mediciones en el plano inclinado a 30° se presentaron las condiciones de cielo más claro.

Los modelos que se comparan son: Isotrópico, Hay y Davies, Reindl et al. y Perez et al. Con los resultados obtenidos se verifica que el modelo isotrópico en general subestima la radiación solar global y difusa medida sobre ambos planos inclinados. Los modelos anisotrópicos utilizados presentan un razonable acuerdo, como se observa en la última figura. En las representaciones gráficas prácticamente no se detectan diferencias ni en la radiación global ni en la radiación difusa entre los resultados del modelo de Hay y Davies y los hallados con el modelo de Reindl et al. Sí en cambio se comprueba que con el modelo de Perez et al. se predicen los valores más altos de radiación solar al compararlo con los otros modelos, a igual ángulo y cualquiera sea la condición de cielo e inclinación de la superficie.

El test estadístico abarca el cálculo MBE (error medio de desviación - mean bias error), MPE (error de porcentaje medio - mean percentage error), y RMSE (raíz cuadrada del error cuadrático medio - root mean square error). Los errores absolutos (MBE y RMSE) y el error relativo (MPE) se estiman en forma instantánea entre cada uno de los resultados de los modelos teóricos y los valores hallados con el polinomio de tercer grado que ajusta las determinaciones experimentales. La estimación horaria de los errores se efectúa con los valores integrados en ese lapso entre las 13 y las 18 horas, haciendo uso del cálculo numérico (método de Simpson).

En las Tablas 1 y 2 se vuelcan los valores calculados de los errores. Analizando el MBE para valores instantáneos y horarios, y ambos ángulos de inclinación, no se observa una tendencia definida en los modelos anisotrópicos. En cambio el modelo isotrópico subestima los datos medidos y los valores absolutos del MBE son máximos en relación con los otros modelos. Los valores promedio mínimos absolutos de MBE corresponden al modelo de Perez et al. para la radiación difusa instantánea ($1,9 \text{ W/m}^2$) y horaria ($3,2 \text{ Wh/m}^2$), y al modelo de Hay y Davies al analizar la radiación global instantánea ($0,8 \text{ W/m}^2$) y horaria ($2,0 \text{ Wh/m}^2$).

En relación con el error relativo medio porcentual (MPE), los valores absolutos del modelo isotrópico son los más altos. El modelo de Perez et al. presentan los valores absolutos mínimos al promediar los resultados alcanzados en ambos planos inclinados, de radiación difusa instantánea (1,8%) y horaria (-3,8%) y de radiación global instantánea (4,6%). El modelo de Hay y Davies es el que presenta menor valor absoluto promedio de MPE para la radiación global horaria (1,1%).

En lo que respecta al error absoluto RMSE, del análisis de los promedios de los datos tabulados se comprueba que el modelo de Hay y Davies es el que posee los mínimos valores promedio en los días de medición, tanto para la radiación difusa instantánea ($10,5 \text{ W/m}^2$) y horaria ($9,8 \text{ Wh/m}^2$), como para la radiación global instantánea ($15,2 \text{ W/m}^2$) y horaria ($14,0 \text{ Wh/m}^2$).

Tabla 1. Comparación entre valores teóricos y experimentales de radiación solar a $t = 15^\circ$.

Radiación solar sobre plano inclinado a 15°		Isotrópico		Hay y Davies		Reindl et al.		Perez et al.	
		Difusa	Global	Difusa	Global	Difusa	Global	Difusa	Global
MBE	Instantáneo	-26,8	-15,0	-14,5	-2,7	-14,4	-2,6	-7,2	4,7
	Horario	-28,2	-14,8	-14,6	-1,3	-14,5	-1,2	-6,8	6,6
MPE	Instantáneo	23,6	8,1	15,7	5,6	15,6	5,6	9,5	3,0
	Horario	19,4	3,7	10,8	1,0	10,8	1,0	5,0	-1,1
RMSE	Instantáneo	27,7	15,5	16,1	7,7	16,1	7,7	9,4	8,8
	Horario	28,8	15,2	16,0	5,5	15,9	5,5	8,6	8,2

Tabla 2. Comparación entre valores teóricos y experimentales de radiación solar a $t = 30^\circ$.

Radiación solar sobre plano inclinado a 30°		Isotrópico		Hay y Davies		Reindl et al.		Perez et al.	
		Difusa	Global	Difusa	Global	Difusa	Global	Difusa	Global
MBE	Instantáneo	-22,7	-19,0	0,6	4,2	1,2	4,8	11,0	14,7
	Horario	-23,8	-20,4	1,9	5,3	2,5	5,9	13,1	16,5
MPE	Instantáneo	26,0	14,2	6,5	10,0	6,0	9,8	-5,9	6,2
	Horario	20,2	5,7	-0,8	1,1	-1,3	1,0	-12,6	-1,8
RMSE	Instantáneo	23,6	24,6	4,9	22,7	5,2	23,0	13,0	23,3
	Horario	24,4	25,1	3,5	22,4	4,0	22,6	13,6	23,5

CONCLUSIONES

* Se comprueba que la radiación solar global decrece fuertemente al aumentar el ángulo cenital, y es menor la disminución de la radiación solar difusa y es elevada la relación entre ambas excepto para altos valores del ángulo cenital.

* Se observa una mejor concordancia entre las predicciones y las mediciones al aplicar modelos anisotrópicos; el modelo isotrópico tiene la particularidad de subestimar los valores de radiación solar global y difusa.

* En relación con los modelos anisotrópicos, se comprueba que los valores obtenidos con el modelo de Hay y Davies son prácticamente los mismos que con el modelo de Reindl et al.

* El modelo de Hay y Davies tiene el mínimo valor promedio de RMSE para la radiación global y difusa predichas, tanto instantánea como horaria.

AGRADECIMIENTOS : Se agradece a la Universidad Nacional del Litoral (Beca de Iniciación en la Investigación y financiamiento de Proyecto CAID 96) y al CONICET, (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) la colaboración prestada para la realización de este trabajo. A la Cátedra de Automatización y Control de Procesos por el instrumental electrónico facilitado durante las mediciones.

REFERENCIAS

- Altamirano L. L., Albizzati E. D. y Alfano O. M. (1996) Estimación del coeficiente de turbidez de Ångström mediante la radiación solar directa en el mes de julio para la ciudad de Santa Fe, Argentina, Tomo I, pág. 4.13 - 4.16 - Actas de la 19^o Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente.
- Bird, R.E. y Riordan C. (1986) Simple solar spectral model for direct and diffuse irradiance on horizontal and tilted planes at the earth's surface for cloudless atmospheres, *J. Climate Appl. Meteor.*, Vol. 25, N° 1, pp. 87-97.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991) Solar engineering of thermal processes. Second edition, Wiley-Interscience publication, J. Wiley & Sons, Inc..
- Gueymard C. A. (1989) Two-band model for the calculation of clear sky solar irradiance, illuminance, and photosynthetically active radiation at the earth's surface. *Solar Energy*, Vol. 43, pp. 253-265.
- Iqbal M. (1983) An introduction to solar radiation. Academic Press.
- Leckner B. (1978) The spectral distribution of solar radiation at the earth's surface-elements of a model. *Solar Energy*, Vol. 20, pp. 143-150.
- Piacentini, R.D. (1992) Comportamiento espacio-temporal de la capa de ozono para latitudes bajas e intermedias ($50^\circ N$, $50^\circ S$), Congreso de la Asociación de Geofísicos y Geodestas, Buenos Aires, Argentina.

RADIACION SOLAR EN BRASIL : UNA EVALUACIONC. Tiba¹, H. Grossi Gallegos², N. Fraidenraich¹ y F. Lyra³

¹ Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia, Depto. de Física Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 1000 - Cidade Universitária, 50.740-540-Recife-PE- BRASIL-FAX: (55-81) 271 8250

² División Física, Dpto. de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Rutas 5 y 7, 6700 Luján, Buenos Aires, ARGENTINA, Fax : (54-323) 25795 E-mail: grossi@mail.unlu.edu.ar

³ Divisão de Projetos de Fontes Alternativas, Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, Rua Edelmiro Gouveia, 333, 50.761-901-Recife-PE-BRASIL

RESUMEN

Este trabajo trata de resumir la información recientemente incluida en el Atlas Solarimétrico del Brasil. Se plantea aquí la necesidad de este tipo de producto a fin de reducir la incidencia de los costos de capital por unidad de energía generada, teniendo en cuenta el significativo aumento experimentado en la instalación de sistemas de electrificación rural con tecnología fotovoltaica en el país. Se describe la metodología y se discuten los resultados, concluyéndose que las cartas elaboradas responden adecuadamente a los datos disponibles en el Brasil dentro de las condiciones que se impusieron en la metodología; aparecen regiones en las cuales sería necesario analizar más detalladamente la información de base y otras en las cuales se hace necesario mejorar la cobertura o utilizar otra metodología complementaria.

INTRODUCCION

El aumento significativo experimentado en la instalación de sistemas de electrificación rural con tecnología fotovoltaica en los últimos años en Brasil, ya sea para iluminación doméstica como para bombeo de agua (Barbosa *et al.*, 1996) exige con urgencia mejorar el conocimiento de la distribución del recurso solar con el objetivo de reducir la incidencia de los costos de capital por unidad de energía generada. Si bien las fuentes de información de radiación solar existentes en el país son muchas, la calidad de los datos es muy variada y las series presentan discontinuidades tanto en lo espacial cuanto en lo temporal, no estando estandarizados ni los instrumentos de medición ni las unidades utilizadas.

El objetivo de la tarea encarada fue recuperar, evaluar, calificar, estandarizar y poner a disponibilidad de los usuarios las mejores informaciones del recurso solar existentes en el Brasil, las que fueron utilizadas para la elaboración de cartas mensuales y anuales de la distribución espacial de los promedios de la radiación solar global recibida sobre un plano horizontal y de las horas de insolación (Tiba *et al.*, 1997). Se prepararon así 26 cartas en una escala 1:5.000.000 con las isolíneas de los dos parámetros antes citados.

En el presente trabajo se presentan los antecedentes previos a la elaboración de las mencionadas cartas, se expone la metodología utilizada para el trazado de las mismas, se discute la representatividad temporal de los promedios y se formulan algunas consideraciones acerca de la distribución espacial de la radiación solar, relacionándosela con las condiciones climáticas y geográficas. Se incluyen, además, algunas de las cartas del Atlas Solarimétrico del Brasil.

ANTECEDENTES

Los estudios sistemáticos sobre la radiación solar incidente en el Brasil se iniciaron en la década del sesenta; en la mayor parte de los casos se trataba de trabajos motivados por el interés agrícola en los que se estimaba la radiación global a través de correlaciones del tipo de Angström a partir de los datos de heliofania. A fines de la década del setenta la radiación solar comienza a ser estudiada por grupos de investigación de las universidades, de meteorología o por empresas interesadas en su aprovechamiento energético. Aparecen así estudios que presentan registros medidos con piranógrafos o piranómetros; también fueron hechas nuevas estimaciones utilizando correlaciones establecidas en otros países.

Todas las cartas con la distribución mensual o anual del promedio de la radiación solar diaria, ya sea de alcance nacional o regional, fueron elaboradas con datos medidos por piranógrafos, o a través de estimaciones o mediante una combinación de ambos procedimientos. Este período fue ciertamente uno de los más productivos; durante el mismo que se obtuvieron, procesaron e hicieron disponibles la gran mayoría de las informaciones con las que hoy se cuenta. Entre los trabajos realizados en este período cabe destacar las cartas mensuales elaboradas para el Cono Sur de América Latina, las que presentaron la distribución de las medias mensuales de la radiación global diaria medidas con piranómetros en el territorio brasileño ubicado al Sur de la latitud 10°S (Grossi Gallegos *et al.*, 1987b).

Recientemente fueron presentados los resultados de la aplicación de un modelo para la estimación de la distribución espacial del promedio mensual de la radiación a nivel de la superficie terrestre elaborada a partir de datos satelitales

(Pereira *et al.*, 1996), trabajo que incluyó 4 cartas correspondientes a la radiación global y a la difusa en los períodos de invierno y de verano para la parte del territorio nacional comprendida entre las longitudes 30°W y 60°W preparadas en base a 2 años de datos. Comparado con valores medidos en tierra con piranómetros termoelectrónicos el modelo arrojó un error cuadrático medio (RMSE) de 13% sobre las medias mensuales.

METODOLOGIA

Cuando se encara la preparación de un Atlas Preliminar de un recurso renovable como el solar se pretende que el mismo refleje, a partir de la información existente, la distribución global del mencionado recurso, dejando de lado en esta etapa particularidades propias de la pequeña y la mediana escala (entre 10 y 100 km en distancia horizontal) frente a las de la macro-escala. Se buscó así, dentro de las posibilidades de la información disponible, compatibilizar la base de datos (de procedencia muy diversa, tanto por el instrumental con que fueron obtenidos cuanto por la extensión y tratamiento a que fueron sometidos) y determinar zonas bien diferenciadas, sin perder de vista el carácter preliminar del producto final.

Procedimiento seguido para el trazado de las cartas

Sobre las mapas nacionales preparados a tal efecto en papel transparente en una escala de 1:5.000.000, en proyección policónica con meridiano central 54°W, se volcó la información de la media anual de los valores diarios y de los promedios mensuales de los mismos que integran la base de datos, diferenciando los que fueron obtenidos con piranómetros termoelectrónicos de los que lo fueron con piranógrafos bimetálicos, y dentro de ellos, los registros que presentan mayor extensión temporal. Los valores procedentes de estimaciones calculadas con diversos modelos se dejaron de lado para ser utilizados en caso de presentarse alguna duda durante el desarrollo del trabajo. Cada uno de estos mapas transparentes fue superpuesto al de hipsometría de Brasil preparado por el Instituto Brasileiro de Geografia y Estadísticas (IBGE), a intervalos de altura de 200m.

En primer lugar, teniendo en cuenta que el error que pueden introducir los piranómetros termoelectrónicos operando en una red se encuentra entre el 3 y el 5%, dependiendo del modelo (Stanhill and Moreshet, 1992; Grossi Gallegos, 1998) y que el de los piranógrafos registrando valores diarios sobre banda de papel puede variar entre el 10 y el 15% si cuentan con un mantenimiento razonable (Lopardo y Fernández, 1976; Esteves and De Rosa, 1989; World Meteorological Organization, 1981), se dio prioridad a la información obtenida con los primeros, provenientes de estaciones del Instituto Nacional de Meteorología (INMET) y de la Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

En segundo lugar, se consideraron las condiciones de variabilidad espacial de los promedios mensuales provenientes de mediciones piranométricas diarias en regiones aproximadamente homogéneas (suponiendo isotropía); como no fueron analizadas para el Brasil, se utilizaron las determinadas para la región de la Pampa Húmeda argentina, lo que permitió extrapolar sus valores hasta aproximadamente 200 km sin exceder un error del 10% dentro de un nivel de confianza del 90% (Grossi Gallegos and Lopardo, 1988).

En tercer lugar, se tuvieron en cuenta los valores promedio de la radiación global obtenidos en las zonas fronterizas de países vecinos y los trabajos similares llevados a cabo en ellos (Grossi Gallegos *et al.*, 1986; Grossi Gallegos *et al.*, 1987a; Grossi Gallegos *et al.*, 1993). Como apoyo complementario se utilizaron las cartas pluviométricas del Atlas Climatológico de América del Sur (Organización Meteorológica Mundial, 1975) y la de cobertura de vegetación del IBGE.

Los valores de los promedios de la radiación solar global diaria se expresaron en MJ/m² y los números sobre las isolíneas se ubicaron del lado creciente de los valores. Como consecuencia de las anteriores consideraciones se estableció como espaciamiento adecuado entre isolíneas sucesivas 2 MJ/m², utilizándose una línea de trazos en aquellas regiones en las que la información no existe o no era lo suficientemente confiable.

De manera similar se trataron los valores de heliofanía. En primer lugar, para tratar de homogeneizar la densidad espacial de la información disponible, se dejaron las mismas localidades utilizadas para los datos de la primera parte y se agregaron otras en las zonas que disponían de poca información de radiación. Al no disponer de un análisis acerca de la calidad de los datos obtenidos con los heliógrafos de Campbell-Stokes, se asignó "a priori" la misma confiabilidad a todos, considerando un error no inferior al 10%.

Análisis de la representatividad temporal de los promedios de radiación global

A fin de establecer la representatividad temporal de los datos de radiación utilizados se analizaron los promedios mensuales provenientes de estaciones piranométricas, aplicándose para ello el tratamiento dado en trabajos anteriores realizados por Hay (1977), Black (1981) y Grossi Gallegos (1998) basándose en el teorema central del límite. Considerando que podría suponerse que la incerteza de los piranómetros de segunda clase utilizados (Eppley modelo 8-48 "Black and White" y Schenk "Stern") sin un control periódico tomara valores entre el 5 y el 7.5% de los promedios mensuales, se calculó el índice de confianza de los promedios utilizados y de allí se obtuvo el nivel de confianza, esto es, qué porcentaje del tiempo la media muestral se mantiene dentro de una franja de $\pm 7.5\%$ de la media a largo plazo ("long term mean"). Se pudo ver así que el 95% de los valores medios cumplieron con la condición establecida; el restante 5% podría sugerir la existencia de problemas en el mantenimiento de los instrumentos o en el procesamiento de los datos. Basados en estos resultados, se trazaron las isolíneas de la distribución de los promedios de la radiación global

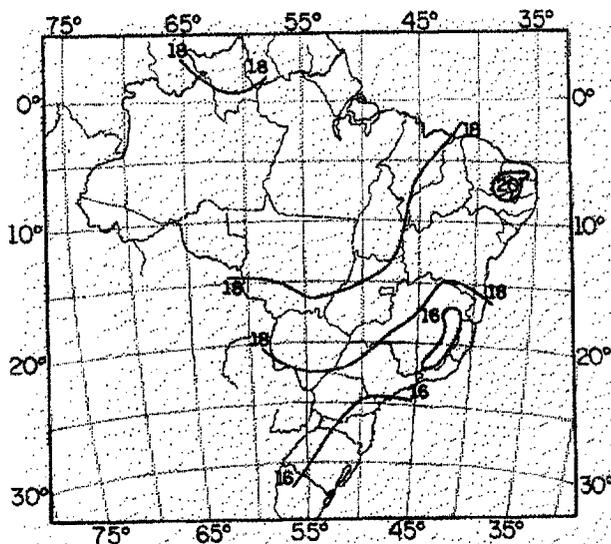


Figura 1. Isolíneas de la distribución espacial del promedio anual de la radiación solar global diaria (MJ/m^2).

diaria, tanto en base anual cuanto mensual. Como ejemplo, en la figura 1 se muestra la distribución anual, mientras que en la figura 2 las correspondientes a los meses de enero y julio.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

El promedio anual de la radiación global diaria en Brasil está centrado prácticamente en el intervalo $(18 \pm 2) \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-día}$, con dos excepciones: por un lado, existe una zona de valores mayores que $20 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-día}$, lo que es similar a lo registrado en Sud América sólo en la Guajira colombiana y en el Altiplano compartido por Argentina, Bolivia, Chile y Perú (Grossi Gallegos, 1997), ubicada en el extremo Nordeste del país (la que podría llegar a ser algo más extensa longitudinalmente si se tiene en cuenta el área de bajas precipitaciones - menores que 600 mm anuales - y alta heliofanía - 8 horas - que allí se registra). Por otro lado, se encuentran dos zonas de valores inferiores a $16 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-día}$ ubicadas, una en el Sudeste (región oriental del Estado de Minas Gerais - motivada por efectos locales de la serranía - que también podría llegar a extenderse hasta el Atlántico) y la otra en el Sur (cubriendo aproximadamente la mitad de los Estados de Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul).

Los máximos valores medios mensuales (mayores que $24 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-día}$) se alcanzan en el extremo meridional del país, en una parte del Estado de Rio Grande do Sul, los meses de diciembre y enero, coincidentemente con los valores alcanzados en los territorios limítrofes de Argentina, Paraguay y Uruguay. También las mínimas medias mensuales (menores que $10 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-día}$) se registran en la misma región en junio y julio, alcanzándose valores menores que $8 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-día}$ sólo en el extremo sur costero del Estado de Rio Grande do Sul. Por lo tanto, esta región es la que registra la mayor amplitud en la variación intermensual del promedio de la radiación global (del orden de $14 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-día}$).

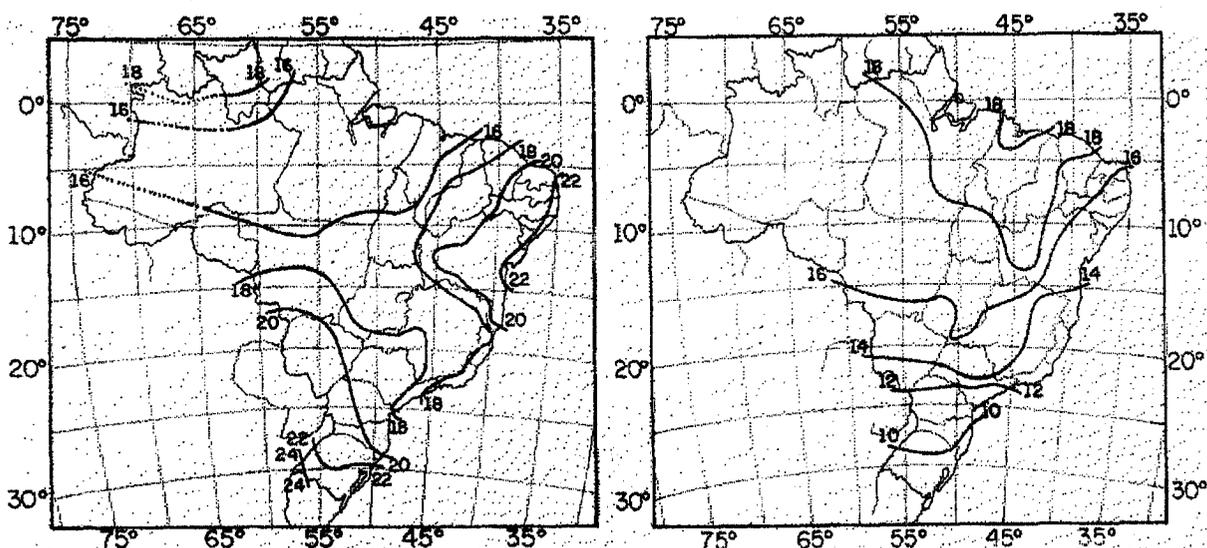


Figura 2. Isolíneas de la distribución espacial del promedio mensual de la radiación solar global diaria (MJ/m^2) correspondientes a los meses de enero (izquierda) y julio (derecha).

Algunos desajustes en los valores hallados con los valores obtenidos en las estaciones piranométricas del Estado de Minas Gerais indicarían la necesidad de analizar el mantenimiento prestado al instrumental ya que los piranómetros Schenk que las integran han mostrado en otros trabajos apartamientos de hasta el 10% en las sumas diarias con respecto a solarímetros de primera clase (World Meteorological Organization-International Council of Scientific Unions, 1986). La región amazónica comprendida entre 50° y 74° de longitud Oeste y 0° y 15° de latitud Sur es la que tiene cobertura muy escasa o inexistente, por lo que estos resultados tienen que ser considerados como meramente indicativos (tampoco es adecuada la cobertura en los países limítrofes de la región occidental).

CONCLUSIONES

Puede considerarse que las cartas de radiación global elaboradas responden adecuadamente a los datos disponibles en el Brasil, dentro de las condiciones que se impusieron en la metodología, siendo compatibles con el mejor nivel del estado del conocimiento del recurso en América del Sur. Aparecen claramente en cada mes regiones bien diferenciadas, correlacionadas razonablemente con las condiciones pluviométricas imperantes y con la heliofanía, siendo posible su integración con los trabajos similares que puedan ser llevados a cabo en países vecinos (estos problemas podrán mejorarse con una complementación satelital cuando estas técnicas alcancen la precisión necesaria).

REFERENCIAS

- Barbosa, E., Fraidenraich, N., Fraga, A. and Tiba, C. (1995). Photovoltaic Electrification. Social and Technical Diagnosis of Systems Installed in the Northeast of Brazil after one Operating Year. En *Proc. 13th European Photovoltaic Energy Conference*, Freiesleben, W., Paltz, W., Ossenkopf, H. and Helm, P. (Eds.), pp. 1088-1091, Nice, France.
- Black, J.N. (1981) Some aspects of the climatology of solar radiation. En *Proc. U.N. Conference in New Sources of Energy*, Paper E/CONF. 35/513, pp. 311-316, Rome, Italy.
- Esteves, A. and De Rosa, C. (1989). A simple method for correcting the solar radiation readings of a Robitzsch-type pyranometer. *Solar Energy* 42, 1, 9-13.
- Grossi Gallegos, H., García, M., Atienza, G. y Castel, M.E. (1986) Estimación de la distribución de la radiación solar global en la República del Paraguay. En *Actas de la 11a. Reunión de Trabajo de la ASADES*, pp. 197-202, S. Luis, Argentina.
- Grossi Gallegos, H., Atienza, G., García, M., Renzini, G., Peralta, M., Saravia U., I. y Arteaga T., A. (1987a) Estimación de la distribución de la radiación solar global en la República de Bolivia. En *Actas de la 12a. Reunión de Trabajo de la ASADES*, vol. I, pp. 83-93, Buenos Aires, Argentina.
- Grossi Gallegos, H., Atienza, G. y García, M. (1987b) Cartas de radiación solar global para la región meridional de América del Sur. En *Anales del II Congreso Interamericano de Meteorología*, pp. 16.3.1-16.3.10, Buenos Aires, Argentina.
- Grossi Gallegos, H. and Lopardo, R. (1988). Spatial variability of the global solar radiation obtained by the Solarimetric Network in the Argentine Pampa Humeda. *Solar Energy* 40, 5, 397-404.
- Grossi Gallegos, H. y Atienza, G. (1992) Análisis del comportamiento espacial de los datos de radiación solar en la Pampa Húmeda. En *Memoria del IV Congreso Interamericano y I Iberoamericano de Meteorología*, pp. 216-220, Cáceres y Salamanca, España.
- Grossi Gallegos, H., Atienza, G. y Castel, M.E.G. de (1993) La medición de la radiación solar en la República del Paraguay. *Actas del 7mo. Congreso Latinoamericano de Energía Solar - 16a. Reunión de Trabajo de la ASADES*, tomo I, pp. 303-308, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Grossi Gallegos, H. (1997). Acerca del campo de los promedios anuales de la radiación solar global diaria en América del Sur. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 2, 75-79.
- Grossi Gallegos, H. (1998). Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. I. Análisis de la información. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 4, 119-123.
- Hay, J. (1977). *An analysis of solar radiation data for selected locations in Canada*. Climatological Studies No. 32, Atmospheric Environment, Downsview, Canada, 158 p.
- Lopardo, R. y Fernández, R. (1979) Estudio técnico-económico del instrumental necesario para la Red Solarimétrica en la Argentina. En *Atas do 2º Congresso Latino-Americano de Energia Solar*, Vol. I, pp. 113-120, João Pessoa, Brasil.
- Organización Meteorológica Mundial (1975) *Atlas Climático de América del Sur*, Vol. I (J. Hoffmann, Ponente). O.M.M., UNESCO, Cartographia, Budapest, Hungría, 28 cartas.
- Pereira, E.B., Abreu, S.L., Stuhlmann, R., Rieland, M. and Colle, S. (1996). Survey of the incident solar radiation in Brazil using the Meteosat satellite data. *Solar Energy* 57, 2, 125-132.
- Stanhill, G. and Moreshet, S. (1992). Global radiation climate changes: the World Network. *Climatic Change* 2, 57-75.
- Tiba, C., Fraidenraich, N., Lyra, F.J., Nogueira, A.M., Grossi Gallegos, H., Moszkowicz, M. e Cavalcanti, E.S. (1997) *Atlas Solarimétrico do Brasil*. Relatório Técnico Final, Vol. I a IV (Convenio No. 004 Universidade Federal de Pernambuco/Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - ELETROBRÁS).
- World Meteorological Organization (1981) *Meteorological Aspects of the Utilization of Solar Radiation as an Energy Source*. Technical Note No. 172, WMO-No. 557, pp. 59-81, Gêneve, Switzerland.
- World Meteorological Organization-International-Council of Scientific Unions (1986) *Revised instructions manual on radiation instruments and measurements*. C. Frölich and J. London (Eds.), WMO/TD-No. 149, Davos, Switzerland, 140 p.

MEDICIONES ESPECTRALES DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN TRELEW

Jorge V. Pedroni, Alejandro Rosales y Manuel R. Schaigorodsky
Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia, Sede Trelew
FAX (54-965) 28402 / 21080, correo electrónico: fisica@unptw.edu.ar

Jorge O. Tocho
Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata y
Centro de Investigaciones Ópticas (CIC - CONICET), CC 124, 1900 La Plata, Argentina
FAX (54-21) 71 27 71, correo electrónico: JorgeT@ciop.unlp.edu.ar

RESUMEN

Se reportan las mediciones de radiación UV espectral obtenidas en la ciudad de Trelew, Chubut, con un radiómetro GUV-511C. Se brinda también la dosis eritémica calculada con el espectro de acción de Diffey. Se ha desarrollado una banda sombreadora automática que permite obtener valores espectrales de radiación global, difusa y directa.

INTRODUCCIÓN

La situación de riesgo potencial que soporta el norte de la región patagónica Argentina en relación con el nivel de radiación ultravioleta solar, es ampliamente reconocido. Es en esta región donde, la combinación de una elevada tasa de disminución global de ozono y los valores relativamente altos de radiación solar debidos al ángulo cenital y a la baja nubosidad, puede provocar variaciones sustanciales en las dosis de radiación UV. Este fenómeno puede verse agravado por la llegada de aire pobre en ozono, que eventualmente se desprende del agujero Antártico, durante algunos días de la primavera (Tocho *et al.*, 1996). Por estas razones resulta de gran interés la caracterización de la radiación ultravioleta que llega a la superficie en esta región geográfica (Orce *et al.*, 1995).

Las mediciones satelitales han sido una gran ayuda en el estudio de la evolución del ozono estratosférico. El análisis de los resultados obtenidos por los instrumentos diseñados para el estudio de este gas, permite obtener los valores de radiación UV en la superficie (Herman, 1998). Como en todas las mediciones satelitales, es necesario disponer de una red de medidores terrestres para posibilitar las frecuentes recalibraciones necesarias. Esta situación es particularmente crítica en el caso de las mediciones de radiación UV, ya que su magnitud se ve afectada por la situación de la atmósfera más baja. Al igual que lo que sucede en el caso del ozono, la red internacional de mediciones de UV no cuenta con un número suficiente de instrumentos en el hemisferio sur. Esta situación se está revirtiendo, pero dista todavía de ser satisfactoria (Vernet, 1998).

Otro aspecto que debe tenerse en cuenta en este tema, es que los efectos biológicos de la radiación UV se estiman generalmente en base a mediciones terrestres de radiación global sobre el plano horizontal. Sin embargo, no existen todavía modelos completos para esta magnitud en esta región espectral. Obviamente, los modelos para radiación directa son mucho más simples y confiables.

Por todas estas razones se ha comenzado recientemente con la ejecución de un trabajo de investigación dedicado al estudio de la radiación UV y su relación con la salud, en la sede Trelew de la Universidad Nacional de la Patagonia. El trabajo se realiza con la participación del Centro de Investigaciones Ópticas de La Plata. Desde la primavera de 1997 se encuentra operando en Trelew un radiómetro espectral de cuatro canales UV y un canal visible para radiación activa en fotosíntesis (PAR). El instrumento original mide radiación global sobre el plano horizontal. A principios de 1998 se incorporó una banda sombreadora automática que permite realizar mediciones de radiación difusa y directa. En este trabajo se presentan los resultados de radiación global obtenidos desde el 17 de setiembre de 1997 y los de radiación difusa y directa desde el 3 de marzo de 1998.

Se ha solicitado la incorporación de este instrumento a una red internacional de medición con instrumentos similares, que funciona en América del Sur desde hace unos años. Este hecho permitirá acceder a la validación internacional de los datos obtenidos y a una posibilidad de calibración conveniente. Es de destacar asimismo que junto al instrumento local, se encuentra funcionando, desde el 14 de julio de 1998, un radiómetro similar perteneciente a la red del CONICET.

EQUIPO EXPERIMENTAL

Se cuenta con un radiómetro solar de cinco canales espectrales modelo GUV-511 C (Biospherical, 1994). El captador de radiación es un difusor de Teflon y cuarzo con respuesta coseno corregida hasta 90 grados. Las bandas espectrales UV, centradas en 305, 320, 340 y 380 nm, están seleccionadas con filtros interferenciales de 10 nm de ancho de banda; la detección de UV se hace con sensores de estado sólido ciegos al espectro visible. Un canal visible de banda ancha mide la

radiación activa para la fotosíntesis (PAR). El instrumento está termostatzado a 50 °C. Los datos, convenientemente procesados, se transmiten a una PC donde se almacenan. El instrumento se encuentra instalado en el techo del Edificio de Aulas y Laboratorios de Física de la Sede Trelew de la Universidad Nacional de la Patagonia (43° 15' 16" S, 65° 18' 15" O). El sensor está conectado a la unidad de proceso y a la computadora de almacenamiento de resultados por un cable de 50 m de largo. Pesando las irradiancias de los canales UV con el espectro de acción eritémica de Diffey se calcula el valor del índice UV canadiense (Goos, 1994) y se almacena junto con los datos radiométricos.

La banda sombreadora tiene un diámetro de 63,4 cm, un ancho de 7,6 cm y su eje de rotación esta horizontal orientado este – oeste. El dispositivo está accionado por un motor paso a paso y un mecanismo reductor de velocidad de engranajes y cadena, que permite obtener una resolución de 0,5° por paso. La misma PC mencionada anteriormente comanda su posición entre la horizontal, para obtener el registro de irradiancia global, y el ángulo apropiado para obtener el correspondiente a la irradiancia difusa. Estos posicionamientos se efectúan durante 1 minuto. La Fig. 1 muestra la disposición del instrumento junto al radiómetro de la red del CONICET.



Fig. 1. Radiómetro GUV-511 C con banda sombreadora automática en Trelew. El instrumento similar del extremo izquierdo es un radiómetro GUV-511 A perteneciente a la red de CONICET.

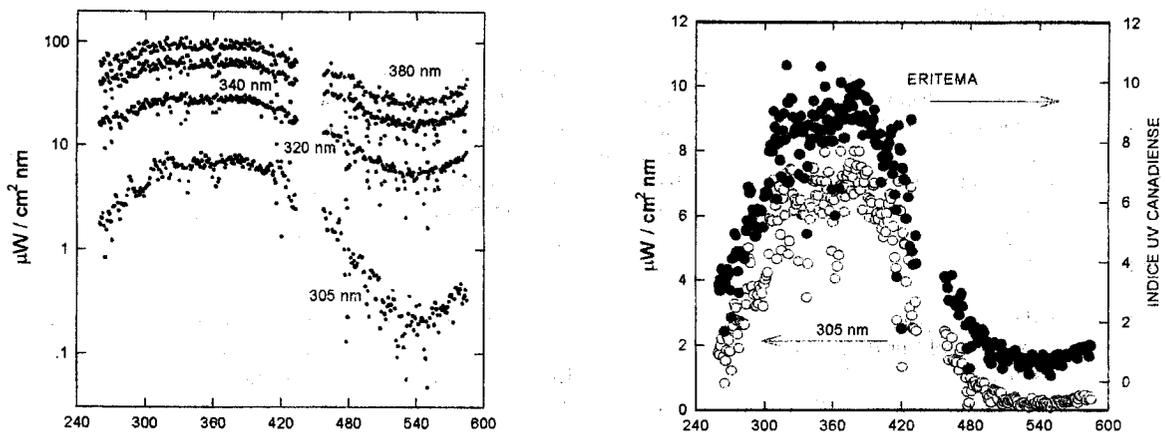


Fig. 2. Irradiancia espectral global y dosis eritémica (máximos diarios). Días julianos a partir del 1/1/97.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados presentados aquí están basados en la calibración original del instrumento. La Fig. 2 muestra los valores máximos diarios para la radiación global en cada canal UV y la comparación cualitativa entre la irradiancia espectral en 305 nm y la dosis eritémica calculada con el espectro de acción de Diffey. A partir de la incorporación de la banda sombreadora se registró en los minutos impares la irradiancia global, con la banda horizontal y en los minutos pares se midió la irradiancia

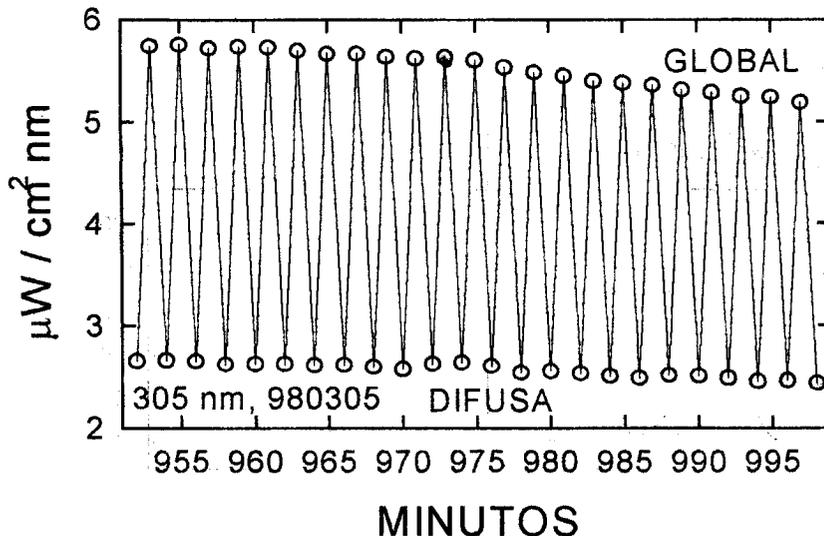


Fig. 3. Registro de unos pocos minutos correspondientes a un día claro, a fines del verano, con banda sombreadora.

difusa. La velocidad de movimiento de la banda es tal que sólo 1 ó 2 medidas, de las aproximadamente 150 medidas promediadas por canal espectral, se ven alteradas. La Fig. 3 muestra un registro de los datos correspondientes al canal de 305 nm, obtenidos en un día claro; la estabilidad de los valores de irradiancia global y difusa muestra que el número de mediciones promediadas es suficiente y que la entrada y salida de la banda no afecta la calidad del dato.

En la figura 4 se brindan un ejemplo de las medidas obtenidas durante todo un día claro, con la banda sombreadora. Se han registrado el periodo entre las 8:00 y las 19:00 horas; la banda sombreadora se activó solamente entre las 10:00 y las 17:00 horas.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se ha instalado un banda sombreadora automática en un radiómetro espectral de banda angosta que permite adquirir datos de radiación global y difusa cada 1 minuto. Si bien la adquisición de datos no se interrumpe durante el movimiento de la banda, la velocidad de adquisición y la velocidad de la banda son tales que no se altera la calidad de las mediciones.

Es sabido que la banda sombreadora enmascara parte de la radiación difusa y que por lo tanto el valor medido debe ser corregido antes de utilizarlo en el cálculo de la radiación directa. Existen algunos procedimientos de corrección para radiación de banda ancha no espectral (Iqbal, 1983). En la región UV es necesario desarrollar este procedimiento. La proporción de radiación difusa UV crece al disminuir la longitud de onda y en 305 nm, en los días invernales, llega a valores mayores del 80 %. Un procedimiento empírico de corrección, basado en realizar mediciones auxiliares con la banda posicionada a ambos lados del ángulo cenital, será utilizado próximamente (Lebaron, 1994).

La banda, por su orientación y sus dimensiones, no alcanza a bloquear la radiación directa en las horas extremas de los días de invierno. Por esta razón se restringió el uso de la banda al periodo entre las 10 y las 17 horas, en esa estación.

En el futuro se adquirirán datos cada 30 segundos con el fin de registrar radiación global para cada minuto del día y adaptarse al funcionamiento establecido para las redes de medición UV existentes. Esto implica la elaboración de un nuevo programa

de adquisición y la utilización de una PC específica para el control del movimiento de la banda. En este caso se implementará un algoritmo que permitirá detener la adquisición durante el posicionamiento de la banda. Durante muchos días del verano los valores de dosis eritémica registrados en Trelew superan la calificación *extremo* del índice UV de Canadá. Es necesario destacar las excepcionales condiciones meteorológicas que se observaron durante el periodo de mediciones con un elevado número de días nublados y una mayor cantidad de precipitaciones.

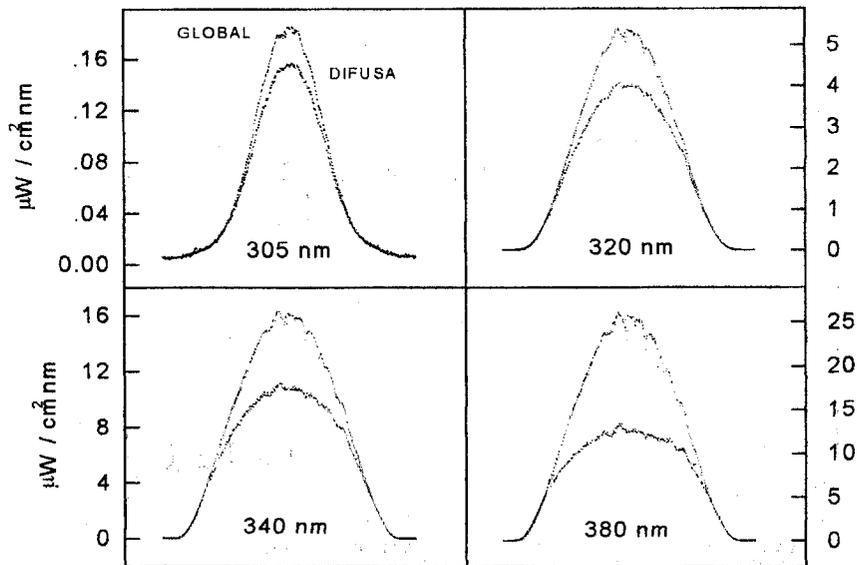


Fig. 4. Irradiancia espectral global y difusa (sin corrección) para un día claro del otoño (16 de junio de 1998).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se efectúa en el marco del proyecto "UV: Dinámica Estratosférica y Biología" de la Universidad Nacional de la Patagonia.

REFERENCIAS

- Biospherical Instruments Inc., 340 Riley Street, San Diego, CA 92110-2621 USA (1994) Ground-based ultraviolet radiometer systems, GUV 510 and 511, 1994.
- Goos, T. (1994) Ozone and Ultra-violet Products and Services in Canada. *WMO Workshop on UV-B for the Americas*, Buenos Aires.
- Herman, J. (1998) "Estudiando el ozono y la radiación UV-B: Logros pasados y oportunidades futuras". *Taller del Instituto Interamericano para el cambio Global*, Buenos Aires.
- Iqbal, M. (1983) *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press, Toronto, chap. 12, p. 364.
- Lebaron, B. A., Michalsky, J. J. and Perez, R. (1994). A simple procedure for correcting shadow band data for all sky conditions. *Applied Optics* **33**, 3069-3076.
- Orce, V. L., Rae, G., and Helbling, E. W. (1995) Latitudinal UVR-PAR Monitoring Network in Argentina: Data from October 1994 to September 1995. *CADIC, Contribución Científica N° 17*.
- Tocho, J. O., Da Silva, L., Lifante, G., Cussó, F., y Jaque, F. (1996) Penetración del agujero de ozono en Sudamérica. *Investigación y Ciencia* **233**, 68-73.
- Vernet, M. (1998) "Estudiando el ozono y la radiación UV-B: Logros pasados y oportunidades futuras", *Taller Instituto Interamericano para el cambio Global*, Buenos Aires.

INTERDEPENDENCIA ENTRE ISOTERMAS E ISOHUMAS CON LA MODALIDAD DE LA ESTRUCTURA URBANA

A. PAPPARELLI (*) – A. KURBAN (**) – M. CUNSULO (***) - E. MONTILLA (****)
 Área Arquitectura Ambiental (UNSJ - CONICET), Santa Fé 198 oeste - 5400 - San Juan
 TE 064-226218 - Email: apappare@farqui.unsj.edu.ar

RESUMEN

El trabajo se enmarca en las disciplinas "Climatología Urbana" y "Planificación Urbana", particularizando su estudio en el diseño bioclimático urbano de ciudades localizadas en zonas áridas, con el fin de contribuir al logro del confort higrotérmico de sus habitantes por medio del aprovechamiento de energías no convencionales.

El objetivo es analizar los cambios producidos en el clima natural de la región, debido a los procesos de urbanización de la ciudad de San Juan, estudiando el comportamiento de las variables climáticas de temperatura y humedad relativa, en su relación con la distribución de la masa térmica edilicia, durante las estaciones extremas de **Invierno y Verano**.

Se modeliza el comportamiento de los índices urbanísticos en el ejido urbano y el de las variables climáticas citadas. Se obtienen índices de ambas variables que las correlacionan con las Bandas Urbanas Características de la ciudad, lo que permite conocer el comportamiento del clima urbano en cualquier sector del Gran San Juan.

INTRODUCCION

Los procesos de antropización en áreas urbanas de zonas áridas debido a sus crecientes cambios en las condiciones del soporte físico original, conllevan una modificación del potencial bioclimático, producido por el aumento o disminución del volumen edilicio, de la superficie vial pavimentada y de la forestación urbana. Cada uno de estos factores incide en el clima macroscalar (Mazzeo, 1984; 2°), con cambios cuya espacialización coincide con la distribución territorial de las áreas construidas. Superando un cierto nivel de densidad urbana, dichos cambios son más marcados e influyen en las condiciones higrotérmicas, tanto del interior de los edificios como de las áreas abiertas públicas. Por ello se hace necesario conocer las reales características climáticas del sitio de implantación de un edificio o conjunto edilicio, a fin de incorporarlo como dato real al diseño bioclimático urbano-arquitectónico, para lograr condiciones adecuadas de confort higrotérmico.

ADQUISICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS URBANISTICOS

A fin de conocer la distribución de los índices urbanísticos, se procedió a relevar el asentamiento, aplicando un método de regresión lineal georeferenciado, con un muestreo de 142 nodos urbanos correspondientes a 16 orientaciones cardinales (rumbos, medios rumbos y cuartos de rumbo), con origen en el centro de la ciudad: plaza 25 de Mayo (Papparelli *et al.*, 1994). Con los valores obtenidos se calcularon los siguientes índices urbanísticos: FOS (Factor de Ocupación del Suelo); DE (Densidad Edilicia); CU (Canopia Urbana). Los tres índices fueron espacializados por medio de isolíneas que permitieron conocer el comportamiento de los mismos en todo el espacio de la ciudad, obteniéndose por métodos estadísticos cuatro bandas concéntricas de condiciones urbanas homogéneas, las cuales se denominaron: **Bandas Urbanas Características (B.U.C.)**. Los valores de cada B.U.C. resultaron:

B.U.C.	F.O.S. (%)	D.E. (m ³ /Ha)	C.U. (m)
EMINENTEMENTE URBANA (EU)	FOS > 40	DE > 15.000	CU > 10
URBANA (UR)	40 > FOS > 20	15.000 > DE > 5.000	10 > CU > 5
SUBURBANA (SU)	20 > FOS > 5	5.000 > DE > 1.500	5 > CU > 2,5
NO URBANA (NU)	5 > FOS	1.500 > DE	2,5 > CU

TABLA N°1 Índices urbanos límites de las Bandas Urbanas Características

Con el límite entre la Banda Suburbana y la Banda No Urbana, quedó definido el límite urbano de la ciudad de San Juan.

ADQUISICION Y PROCESAMIENTO DE DATOS CLIMATICOS

A partir del año 1991, se realizaron mediciones climáticas itinerantes en toda el área urbana de la ciudad de San Juan, en ambas estaciones extremas (invierno y verano). El programa de mediciones climáticas itinerantes se realizó en 48 nodos urbanos representativos de los 142 característicos de la ciudad, en coincidencia con los nodos de relevamiento y distribuidos a lo largo de toda su superficie, en las 16 orientaciones cardinales citadas. En cada uno de estos puntos se realizaron mediciones climáticas tri-diurnas (9hs - 15hs - 21hs) de temperatura y humedad relativa en las estaciones de invierno y verano. Desde 1994, estos datos fueron complementados con mediciones climáticas obtenidas en una estación meteorológica fija localizada en la Banda Eminentemente Urbana de la ciudad. Con 5 años de mediciones (1991-1995), se confeccionó un banco de datos anual y otro quinquenal del clima urbano de la ciudad.

(*) Prof. Ppal. CONICET - Prof. Titular FAUD (UNSJ)
 (***) Prof. Adj. CONICET - Prof. E.M (UNSJ)

(**) Prof. Adj. CONICET - Prof. Titular FAUD (UNSJ)
 (****) Prof. JTP FAUD (UNSJ)

CALCULO DE INDICES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Para poder obtener un resultado comparativo entre las áreas representativas de los diferentes sectores cardinales, se procedió a referenciar los valores climáticos promedio en cada Banda Urbana Característica para cada sector cardinal con los valores climáticos de la Banda No Urbana del mismo sector cardinal. De esta manera se obtuvieron Indices que caracterizan a cada sector urbano: **Indice de Temperatura** ($I_t = T^{\circ}\text{Csc} / T^{\circ}\text{CscNU}$) e **Indice de Humedad Relativa** ($I_{hr} = \text{HR}\% \text{sc} / \text{HR}\% \text{scNU}$). Por medio del método de "Las Diferencias" se determinaron tres tipos de áreas diferenciadas en su comportamiento higrótérmico, las que se definieron como: Sectores de Índice Máximo, Índice Medio e Índice Mínimo de temperatura y de humedad relativa. Estos valores fueron calculados en las Tablas 2, 3, 4 y 5 para luego ser espacializados y restituidos a la plancheta urbana de la ciudad (Ver Figuras 1, 2, 3 y 4), representando con: GRIS OSCURO los Mínimos; con GRIS MEDIO los Medios y con GRIS CLARO los Máximos.

BUC	SECT. CARD.	TEMP. PROM. (1)	INDICE T °C (2)	SECT. ORDENADOS	
				SECT. CARD.	INDICE T °C
E.U.	N	10,0	1,136	SE	1,190
	NE	9,4	1,119	E	1,159
	E	10,4	1,169	N	
	SE	9,4	1,190	S	
	S	10,0	1,136	O	
	SO	9,5	1,118	NE	
	O	10,3	1,120	SO	
	NO	9,5	1,105	NO	
U.R.	N	9,2	1,045	SE	1,076
	NE	8,7	1,036	E	
	E	9,5	1,067	SO	
	SE	8,5	1,076	NO	
	S	9,2	1,045	N	
	SO	8,9	1,047	S	
	O	9,6	1,043	O	
	NO	9,0	1,047	NE	
S.U.	N	8,9	1,011	SE	1,025
	NE	8,5	1,012	SO	1,024
	E	9,1	1,022	E	
	SE	8,1	1,025	NE	
	S	8,9	1,011	NO	
	SO	8,7	1,024	N	
	O	9,3	1,011	S	
	NO	8,7	1,012	O	
N.U.	N	8,8			
	NE	8,4			
	E	8,9			
	SE	7,9			
	S	8,8			
	SO	8,5			
	O	9,2			
	NO	8,6			

TABLA 2: Indices de Temperatura para INVIERNO

BUC	SECT. CARD.	HUM. REL. PROM. (1)	INDICE HR% (2)	SECT. ORDENADOS	
				SECT. CARD.	INDICE HR%
E.U.	N	45,5	0,923	E	0,916
	NE	49,5	0,929	N	0,923
	E	45,0	0,916	SE	0,927
	SE	49,3	0,927	NE	0,929
	S	45,6	0,931	S	0,931
	SO	49,1	0,948	O	0,936
	O	45,4	0,936	SO	
	NO	49,0	0,951	NO	
U.R.	N	47,8	0,970	E	0,967
	NE	51,9	0,974	N	0,976
	E	47,5	0,967	S	0,977
	SE	51,8	0,974	O	0,976
	S	47,7	0,973	NE	0,976
	SO	50,7	0,979	SE	0,979
	O	47,2	0,973	SO	0,979
	NO	50,4	0,979	NO	0,979
S.U.	N	48,9	0,9919	NE	0,9887
	NE	52,7	0,9887	S	0,9898
	E	48,7	0,9919	SE	0,9906
	SE	52,7	0,9906	O	0,9918
	S	48,5	0,9898	N	0,9923
	SO	51,4	0,9923	E	0,9918
	O	48,1	0,9918	NO	0,9922
	NO	51,1	0,9922	SO	0,9922
N.U.	N	49,3			
	NE	53,3			
	E	49,1			
	SE	53,2			
	S	49,0			
	SO	51,8			
	O	48,5			
	NO	51,5			

TABLA 3: Índice de Humedad Relativa para INVIERNO

BUC	SECT. CARD.	TEMP. PROM. (1)	INDICE T °C (2)	SECT. ORDENADOS	
				SECT. CARD.	INDICE T °C
E.U.	N	28,9	1,036	E	1,078
	NE	28,9	1,047	SE	1,078
	E	29,0	1,078	NE	
	SE	29,0	1,070	NO	
	S	28,9	1,032	N	
	SO	28,9	1,036	SO	
	O	28,9	1,036	O	
	NO	28,9	1,043	S	
U.R.	N	28,3	1,014	E	1,030
	NE	28,1	1,018	SE	1,030
	E	27,7	1,030	NE	
	SE	27,8	1,026	NO	
	S	28,3	1,011	N	
	SO	28,3	1,014	SO	
	O	28,3	1,014	O	
	NO	28,2	1,018	S	
S.U.	N	28,0	1,0036	E	1,0074
	NE	27,8	1,0072	SE	1,0074
	E	27,1	1,0074	NE	1,0072
	SE	27,3	1,0074	NO	1,0072
	S	28,1	1,0036	N	
	SO	28,0	1,0036	SO	
	O	28,0	1,0036	O	
	NO	27,9	1,0072	S	
N.U.	N	27,9			
	NE	27,6			
	E	26,9			
	SE	27,1			
	S	28,0			
	SO	27,9			
	O	27,9			
	NO	27,7			

TABLA 4: Indices de Temperatura para VERANO

BUC	SECT. CARD.	HUM. REL. PROM. (1)	INDICE HR% (2)	SECT. ORDENADOS	
				SECT. CARD.	INDICE HR%
E.U.	N	28,7	0,908	SE	0,815
	NE	28,7	0,914	E	0,815
	E	28,0	0,833	N	
	SE	28,6	0,815	NE	
	S	28,7	0,938	NO	
	SO	28,4	0,947	O	
	O	28,3	0,922	S	
	NO	28,6	0,920	SO	
U.R.	N	30,5	0,965	SE	0,932
	NE	30,4	0,968	E	0,935
	E	31,4	0,935	N	0,965
	SE	32,7	0,932	NO	0,965
	S	29,9	0,977	O	0,967
	SO	29,3	0,977	NE	0,968
	O	29,7	0,967	S	0,977
	NO	30,0	0,965	SO	0,977
S.U.	N	31,3	0,991	SE	0,974
	NE	31,0	0,987	E	0,982
	E	33,0	0,982	NE	0,982
	SE	34,2	0,974	NO	0,982
	S	30,4	0,993	SO	0,982
	SO	29,7	0,990	O	0,982
	O	30,4	0,990	N	0,982
	NO	30,7	0,987	S	0,982
N.U.	N	31,6			
	NE	31,4			
	E	33,6			
	SE	35,1			
	S	30,6			
	SO	30,0			
	O	30,7			
	NO	31,1			

TABLA 5: Índice de Humedad Relativa para VERANO

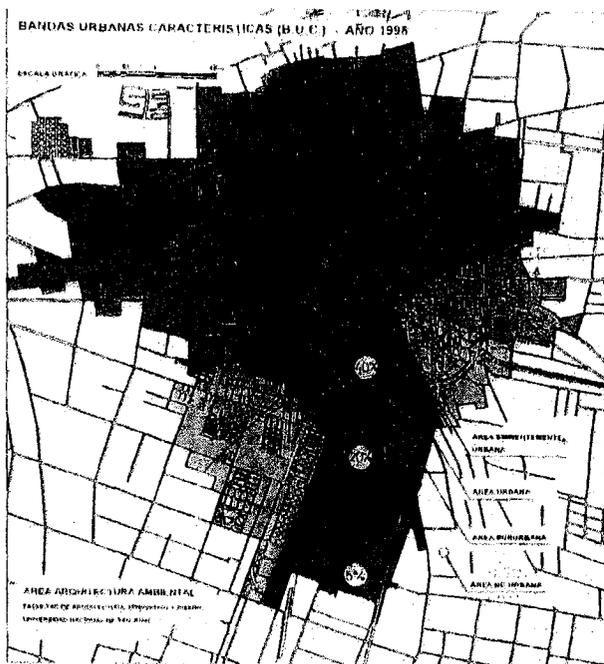


FIGURA 1:
INDICES DE TEMPERATURA - INVIERNO

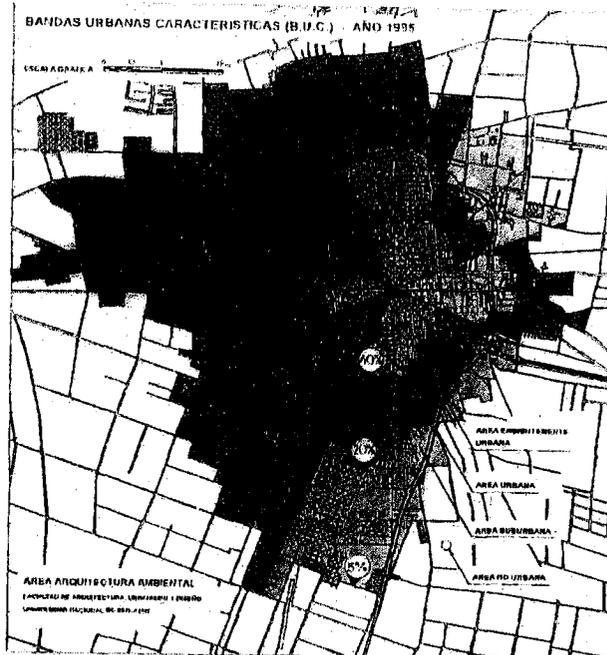


FIGURA 2:
INDICES DE HUMEDAD RELATIVA - INVIERNO

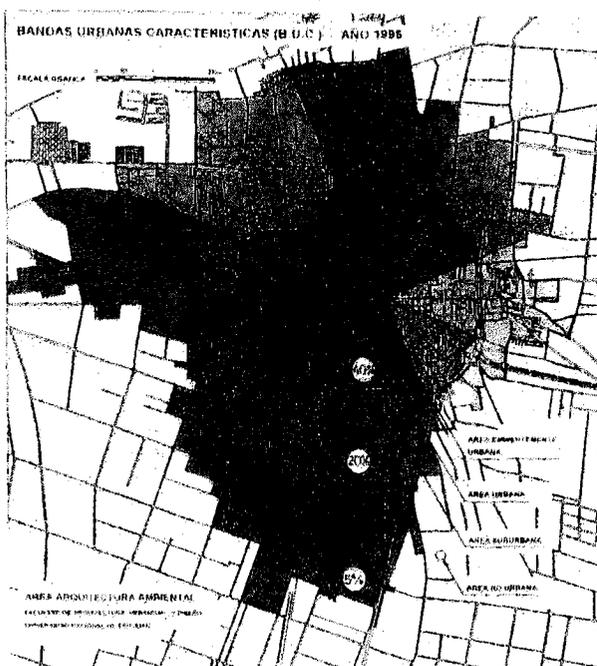


FIGURA 3:
INDICES DE TEMPERATURA - VERANO

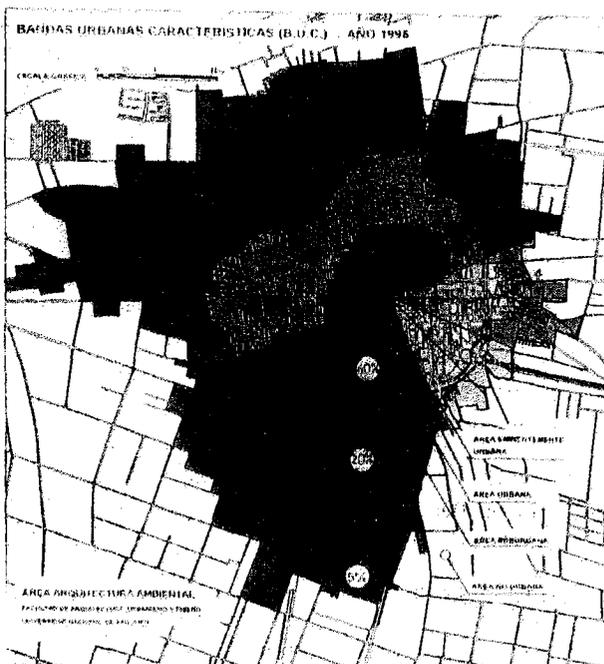


FIGURA 4:
INDICES DE HUMEDAD RELATIVA - VERANO

MODELIZACION ESPACIAL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LAS B.U.C.

A fin de obtener los valores de temperatura y humedad relativa de cualquier punto de la ciudad, por medio del software Grapher se construyeron para las 8 direcciones cardinales principales, distintos tipos de curvas de ajuste de los datos climáticos, resultando la curva de función logarítmica la más apropiada a todas las nubes de puntos. Por medio de la información climática y la base de datos urbanísticos, se calcularon los valores de las diferencias de temperatura y humedad relativa entre centro urbano y periferia para cada sector cardinal, tanto para Invierno como para Verano, arrojando los valores máximos y mínimos siguientes:

INVIERNO: $\Delta T_{\max} = + 4,96^{\circ}\text{C} \cong 5,0^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Sector SUROESTE; $\Delta T_{\min} = + 2,69^{\circ}\text{C} \cong + 2,7^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Sector NORTE
 $\Delta HR_{\max} = - 13,08\% \cong -13,1\% \rightarrow$ Sector NORESTE; $\Delta HR_{\min} = -10,4\% \cong -10,4\% \rightarrow$ Sector OESTE

VERANO: $\Delta T_{\max} = + 3,50^{\circ}\text{C} \cong 3,5^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Sector ESTE; $\Delta T_{\min} = + 2,92^{\circ}\text{C} \cong + 2,9^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Sector NORTE
 $\Delta HR_{\max} = - 7,29\% \cong - 7,3\% \rightarrow$ Sector ESTE; $\Delta HR_{\min} = - 5,08\% \cong - 5,1\% \rightarrow$ Sector SUROESTE

Las curvas representativas de estos cálculos no se presentan en este escrito por limitaciones de espacio requeridas.

RESULTADOS OBTENIDOS

- La forma de distribución de la Temperatura, tanto en INVIERNO como en VERANO para todas las direcciones cardinales desde el centro urbano hacia la periferia, es siempre DECRECIENTE, presentando una fuerte pendiente en la Banda Eminentemente Urbana, una pendiente moderada en la Banda Urbana, y una pendiente muy suave en la Banda Suburbana, tendiendo a estabilizarse (horizontalizarse) en la Banda No Urbana.
- La forma de distribución de la Humedad Relativa, tanto en INVIERNO como en VERANO para todas las direcciones cardinales desde el centro urbano hacia la periferia, es siempre CRECIENTE, presentando una fuerte pendiente en la Banda Eminentemente Urbana, una pendiente moderada en la Banda Urbana, y una pendiente muy suave en la Banda Suburbana, tendiendo a estabilizarse (horizontalizarse) en la Banda No Urbana.
- Queda demostrada cuantitativamente la existencia de Isla de Calor, la que se manifiesta con mayor intensidad en Invierno que en Verano.

CONCLUSIONES

- La máxima diferencia de temperatura entre el centro urbano y la periferia de la ciudad, se manifiesta en las direcciones cardinales ESTE y SURESTE, tanto en invierno como en verano; deduciéndose que dichos sectores son los más frescos de todo el ejido urbano (Ver Figs. 1 y 3).
- La máxima diferencia de humedad relativa entre el centro y la periferia de la ciudad, se manifiesta en las direcciones cardinales ESTE y SURESTE, para el verano; no presentando idénticas tendencias para invierno, ya que la máxima diferencia se presenta en sectores alternados y no contiguos, como son SUR, SURESTE y NORESTE (Ver Figs. 2 y 4).
- Visualizando las Figuras 1, 2, 3 y 4, y de acuerdo a las dos conclusiones anteriores puede inferirse que el eje NORESTE-SUROESTE divide a la ciudad en dos grandes áreas que presentan comportamientos higrótérmicos diferentes. Toda el área que se localiza al NOROESTE del eje mencionado presenta una MENOR diferencia tanto en temperatura como en humedad relativa, mientras que el área que se encuentra al SURESTE del eje mencionado presenta MAYOR diferencia tanto de temperatura como de humedad relativa. Por lo que puede deducirse que toda el área NOROESTE de la ciudad es más cálida y seca que la localizada al SURESTE del eje NORESTE-SUROESTE.
- Se observa que los sectores ESTE y SURESTE son los que menor superficie urbana ocupan, para casi todas las Bandas Urbanas Características (Ver Figs. 1, 2, 3 y 4). Esto confirma la estrecha relación entre temperatura y humedad relativa con la modalidad de la ocupación urbana, esto es:
 - A mayor diferencia de ocupación urbana → mayor diferencia de T°C y HR% entre centro y periferia.
 - A menor diferencia de ocupación urbana → menor diferencia de T°C y HR% entre centro y periferia.
- Analizando en forma particularizada el comportamiento de la temperatura y de humedad relativa para cada una de las Bandas Urbanas Características se destaca que en:
 - VERANO:**
 - En las 3 Bandas que conforman la totalidad del ejido urbano, esto es en las Bandas: Eminentemente Urbana (EU), Urbana (UR) y Suburbana (SU), los sectores más frescos son el ESTE y el SURESTE, coincidiendo con los sectores más húmedos. Esto significa que la ciudad tiene un comportamiento similar para las 3 Bandas.
 - INVIERNO:**
 - En las Bandas: Eminentemente Urbana (EU) y Urbana (UR), los sectores más cálidos son: SUR, SUROESTE, OESTE, NOROESTE, NORTE y NORESTE, no coincidiendo con los sectores de menor humedad relativa, los que se presentan en forma alternada, no determinando un área continua de similares características.
 - En la Banda Suburbana (SU) los sectores más cálidos son: OESTE, NOROESTE, NORTE, NORESTE y SUR, coincidiendo parcialmente con los sectores más secos.

BIBLIOGRAFIA

- Chandler, T.J. (1976) *Urban Climatology and its relevance to urban design*, WMO Technical Note N° 149, Switzerland.
- Givoni, B. (1985) *Urban design and urban climate*, EEUU, Documento inédito.
- Mazzeo, N. (1984) *Bases físicas del clima - Micrometeorología*, UBA, Bs. As.
- Mazzeo, N. (1984) *Aplicaciones del diagnóstico climático a problemas relacionados con el urbanismo*, UBA, Bs. As.
- Oke, T. (1982) *The Energetic Basis of the Urban Heat Island*, Londres.
- Oke, T. (1986) *Urban Climatology and the tropical city*, Proceedings of the Technical Conference: Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas, Secretariat of the WMO N° 652, Switzerland.
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M. (1996) *CLIMA URBANO - Estrategias Bioclimáticas para el Diseño Arquitectónico en Área Urbana de Zona Árida*, Informe Final Proyecto de Investigación trianual UNSJ.
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M. (1994) *Características de la distribución espacial en la ciudad de San Juan*, S. Juan, Editado por Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, UNSJ.

MONITOREO DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS EN LA CIUDAD DE CAMPANA

C.A. García Ebbens - L.N. Leanza - J.R. Parente - C.T. Varanese - O.E. Nemer

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL DELTA
CENTRO DE ENERGIA Y AMBIENTE
San Martín 1171 - (2804) Campana - Buenos Aires - Argentina
T.E./Fax : 54-0489-20249/20400/22018/37617
E-mail: lulean@hotmail.com / jpar35@hotmail.com**RESUMEN**

El presente trabajo se basa en la medición de los contaminantes básicos Dióxido de Azufre, Oxidos de Nitrógeno y Oxidantes Fotoquímicos en la ciudad de Campana. En los tres casos se han utilizado métodos activos por vía húmeda disponiendo para este cometido de equipos de diseño propio basados en normas ASTM. En el caso del Dióxido de Azufre el método utilizado es el de referencia de la U.S.E.P.A. (2); para los dos restantes contaminantes se han empleado métodos equivalentes a los de referencia. Las mediciones fueron realizadas durante el año 1997 a través de dos estaciones de monitoreo estratégicamente ubicadas, una frente a una importante zona industrial densamente poblada y la restante cercana a otra zona industrial, distante pocos metros de la ruta nacional No.12. Las tareas realizadas han servido como base para conocer la calidad del aire en la ciudad de Campana y a la luz de los resultados obtenidos generar la necesidad de un monitoreo continuo.

OBJETIVO

Considerando que nuestra Facultad se haya inserta en una importante región industrial y que ello incrementa la probabilidad de contaminación atmosférica, en los últimos años nos hemos abocado a la implementación de un sistema integral que permita el control de calidad del aire de los contaminantes básicos regulados por el Decreto 3395/96 de la ley 5965 de la Provincia de Buenos Aires. Nuestro principal objetivo ha sido el de conocer datos de la presencia de esos contaminantes y fomentar así un monitoreo continuo por parte de las principales fuentes generadoras. En este trabajo nos limitamos a presentar resultados y conclusiones de datos de tres contaminantes básicos: Dióxido de Azufre (SO_2), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Oxidantes Fotoquímicos (O_3).

INTRODUCCION Y FUNDAMENTOS

La contaminación del aire es la presencia de material indeseable en ese aire, en cantidades bastantes grandes como para producir efectos nocivos. Muchos de estos materiales nocivos entran a la atmósfera provenientes de fuentes que en la actualidad, se encuentran mas allá del control humano. Sin embargo, en las partes mas densamente pobladas del globo, en particular los países industrializados, las fuentes principales de estos contaminantes son actividades humanas. El remedio propuesto en la mayor parte de los países industrializados es continuar con las actividades y controlar las emisiones contaminantes del aire que provengan de ellas. Entonces es fundamental realizar el monitoreo para asegurar que las fuentes productoras están debidamente controladas.

Al hacer un análisis general de la contaminación atmosférica, es importante hacer mención de las características y principales efectos adversos que presentan cada uno de estos contaminantes. En nuestro caso haremos mención a aquellos cuyos resultados y conclusiones se ilustran en este trabajo:

Dióxido de Azufre: Es un contaminante primario y se produce cuando se utilizan combustibles que contienen azufre. En forma directa afecta las vías respiratorias e indirectamente cuando en presencia del oxígeno del aire, la humedad del ambiente y con el efecto de la luz se convierte en ácido sulfúrico, generando de ese modo las lluvias ácidas que tienen efectos adversos en los medios biótico y abiótico. Junto con el Trióxido de Azufre (SO_3) causan problemas en la zona superior del sistema respiratorio, tales como constricciones bronquiales e irritación de ojos y garganta. En concentraciones de 400-500 ppm puede ser mortal, incluso en una exposición breve (1).

Oxidos de Nitrógeno: Son contaminantes primarios y se producen tanto a partir de combustibles que contienen nitrógeno como también mediante un proceso llamado "fijación de nitrógeno". Si bien el nitrógeno forma ocho óxidos diferentes, el interés principal respecto a la contaminación del aire se centra en los óxidos mas comunes: Oxido Nítrico (NO), que es un gas incoloro e inodoro y el Dióxido de Nitrógeno (NO_2), que es un gas de color rojizo, de olor fuerte y asfixiante parecido al del cloro. Actúan sobre la salud humana afectando las vías respiratorias. El Dióxido de Nitrógeno en concentraciones de 100-1000 ppm puede ser mortal, incluso tras una exposición breve (1).

Ozono (Oxidantes Fotoquímicos): Es un contaminante secundario. Cuando los contaminantes primarios han quedado atrapados en las capas inferiores de la atmósfera, las condiciones de humedad y temperatura pueden propiciar que reaccionen entre si y con los componentes normales de la atmósfera. Estas reacciones requieren de la energía de la luz solar, por lo que se las llama reacciones fotoquímicas y a los productos resultantes de ellas se les llama contaminantes secundarios. La toxicidad del Ozono es similar a la de los Óxidos de Nitrógeno afectando el sistema respiratorio.

Las técnicas utilizadas para monitorear cada contaminante son las siguientes (3) :

Dióxido de Azufre: El método utilizado se basa en la Norma ASTM D 2914-90. En el método West-Gaeke se hace burbujear un volumen de aire conocido a través de una solución de Tetracloromercuriato de Sodio, el cual forma un complejo con el Dióxido de Azufre. Después de varias reacciones intermedias, la solución se trata con Pararrosanilina, con el fin de formar el Acido Metilsulfónico de Pararrosalinina, de color intenso, cuya concentración se determina en un espectrofotómetro.

Oxidos de Nitrógeno: El método utilizado en este caso se basa en la Norma ASTM D 3608-89 . El mismo cubre la determinación del Dióxido de Nitrógeno y Oxido Nítrico contenido (NOx total). El NO es cuantitativamente convertido a NO₂ por oxidación con Acido Crómico, más el NO₂ ya presente, son absorbidos en un reactivo nitro coloreado. Un color violáceo es producido dentro de los 15 minutos y la intensidad de ésta es medida espectrofotométricamente a 550 nm. El método se conoce como reacción de Griess - Saltzman.

Ozono: El método utilizado para este contaminante se basa en la norma ASTM D 2912-76 (R.83). El mismo cubre la determinación de bajas concentraciones de oxidante neto, incluyendo Ozono y otros oxidantes tales como Cloro, Peroxiacetil Nitrato y Peróxido de Hidrógeno , los cuales pueden estar presente en la atmósfera. Cantidades pequeñas de Ozono y otros oxidantes son colectadas por absorción en una solución de Ioduro de Potasio tamponada a pH 6,8. El Iodo liberado equivalente de la concentración de oxidante presente en el aire, es determinado por la medición del ión Triioduro espectrofotométricamente a 352 nm.

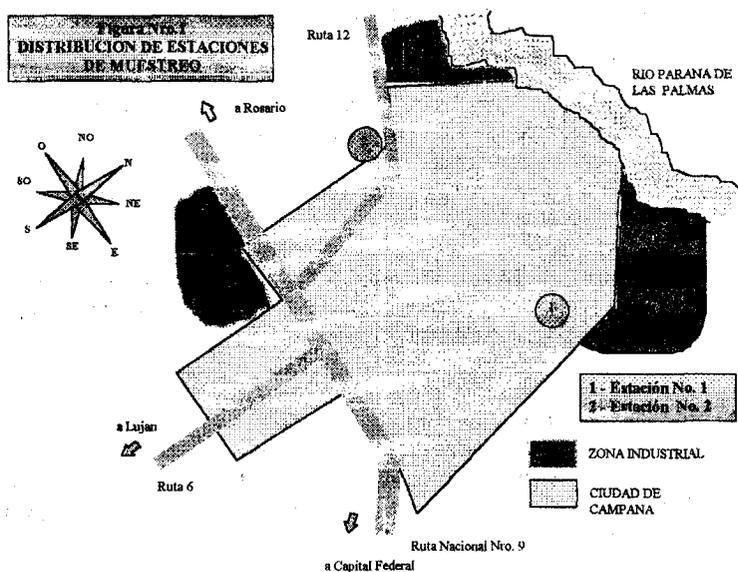
METODOLOGIA

Para realizar el estudio en cuestión, se eligieron dos sitios para ubicar el equipamiento de monitoreo de los contaminantes antes mencionados. La estación No.1 se ubicó frente a una zona industrial densamente poblada y la estación No. 2 se ubicó cerca de otra zona industrial , distante pocos metros de la ruta nacional No.12 sobre la periferia del conglomerado poblacional. En la figura No.1. se puede apreciar un mapa con la distribución de los lugares de muestreo y zonas industriales.

Se realizaron muestreos diarios, entre lunes y viernes de cada semana, durante seis meses. La rutina de análisis comenzaba por la mañana colocando el reactivo absorbente adecuado en cada tren de muestreo, previa calibración de los instrumentos de control de caudal.

En el caso de NO_x y O₃ el muestreo culminaba a la hora de comenzado el control y en el caso de SO₂ ,24 hs. después en la mañana del día siguiente, momento en el cual se colocaba el nuevo impinger (frasco absorbedor) con los reactivos de fijación del contaminante buscado.

Inmediatamente luego de colectada la muestra, los tubos absorbedores eran trasladados al laboratorio de análisis, tomando los recaudos que señalan las técnicas usadas, y se procedía a realizar la cuantificación de los contaminantes.



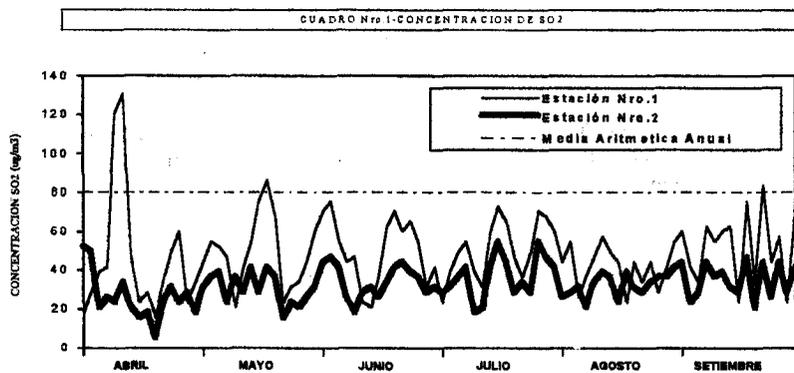
RESULTADOS

Los resultados de las concentraciones de SO₂, NO_x y O₃ que se informan fueron medidos a una altura entre 1,80 y 2,00 metros en los dos sitios de muestreo.

En cuanto a las concentraciones de SO₂ se puede apreciar (ver cuadro No.1) solamente tres picos de los promedios diarios de concentraciones ocurridos el día 7 y 8 de Abril en la Estación No.1 con 130,9 ug/m³ y 120,5 ug/m³ respectivamente, con vientos predominantes del cuadrante Noreste.

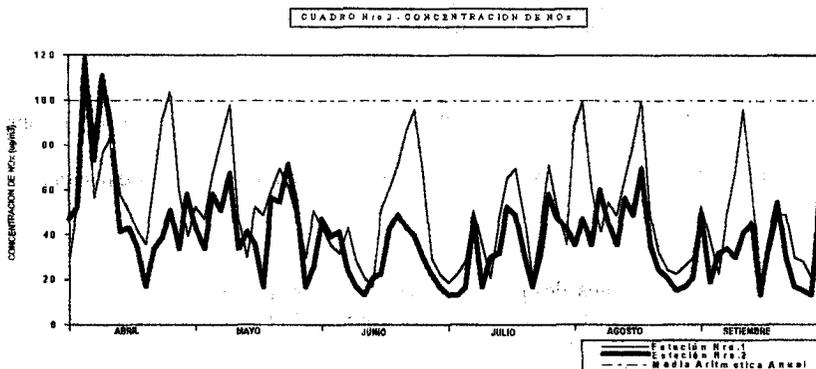
En el mes de Mayo, el día 14 tuvimos nuevamente otro máximo en la Estación No.1 con una concentración de 86,4 ug/m³ y predominio de vientos que soplaban del cuadrante Norte. En los siguientes meses los valores promedios diarios estuvieron por debajo del límite permisible de 80 ug/m³, hasta que el día 18 de Setiembre volvimos a tener otro valor por encima de lo recomendado con 83,8 ug/m³ con vientos predominantes del sector Noreste.

En la Estación No.2 los valores promedios por día se mantuvieron siempre por debajo del límite aceptable.



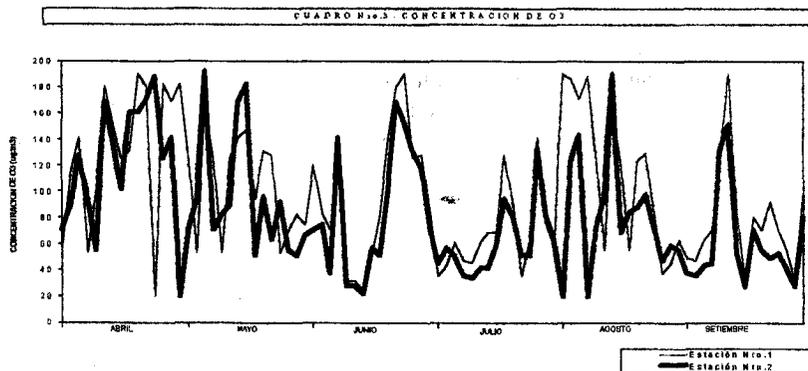
Los niveles de concentración de NO_x se pueden observar (ver cuadro No.2). En la Estación No.2 hubo valores máximos de promedios horarios el día 3 y 6 de Abril con concentraciones de 118,6 ug/m³ y 111 ug/m³ respectivamente, con vientos predominantes del sector Noreste. Luego los niveles de concentración de contaminante se mantuvieron por debajo de lo aceptable durante todos los meses de monitoreo.

En la Estación No.1 podemos apreciar tres valores máximos, el día 3 de Abril una concentración promedio horaria de 105,4 ug/m³ provocó el pico máximo con vientos que soplaban del sector Noreste y el 28 de Abril tuvimos otro pico de 103,5 ug/m³ con vientos que predominaron del sector Norte. Luego los niveles de concentración se mantuvieron por debajo del límite hasta que el 4 de Agosto hubo un máximo de 99,8 ug/m³ con vientos del sector Norte y el día 13 del mismo mes se registró otro valor por encima del límite con 99,8 ug/m³ con vientos soplando del cuadrante Noreste.



Las mediciones de Oxidantes Fotoquímicos (expresados como Ozono) en ambas Estaciones de monitoreo arrojarán resultados siempre por debajo de los límites fijados por la legislación vigente, que estipula un valor límite de 235 ug/m³ para un periodo de 1 hora.

Los resultados obtenidos de las mediciones realizadas pueden observarse en el cuadro No.3.



De la observación de los resultados obtenidos surge que en todos los casos la concentración de contaminantes en la Estación No.1 es superior a los correspondientes a la Estación No.2, lo cual es lógico considerando su ubicación geográfica y el predominio de los vientos de la zona.

CONCLUSIONES

Si bien el tiempo en el cual fueron colectados los datos no es el óptimo deseado, fue suficiente para poder obtener las siguientes conclusiones.

- 1) De los cuadros de resultados se puede apreciar que en la mayor parte de los meses la concentración de contaminantes se mantuvo por debajo de los límites fijados por la legislación que regula los parámetros de calidad de aire. Solamente en el mes de Abril, Mayo y Setiembre hubo concentraciones por encima de la media aritmética anual para el SO₂ y en Abril y Agosto los NO_x, con vientos que prevalecieron del cuadrante Noreste. Cabe destacar que el predominio de los vientos en la zona es del sector Noreste, y en esta dirección generan efectos adversos en el conglomerado poblacional.
- 2) La Facultad Regional Delta, a través de su Centro de Energía y Ambiente, fue la pionera en ver la necesidad de un relevamiento de datos sobre contaminación atmosférica. La tarea se desarrolló con equipamiento de diseño propio destacando que el mismo cumplió con las expectativas previamente establecidas aportando datos hasta ese momento desconocidos.
- 3) A través del esfuerzo realizado, se logró que autoridades Municipales y miembros de las distintas fuentes generadoras se preocuparan por el tema, a punto tal que próximamente está por comenzar un monitoreo continuo de aire por medio de equipamiento que emplea sensores electroquímicos.
- 4) Toda la tarea realizada ha permitido crear una importante masa crítica de docentes y alumnos que han visto incrementar sus conocimientos en el monitoreo de contaminantes atmosféricos. A raíz de ello, independientemente del monitoreo continuo que será realizado, se continúan los análisis de los mencionados contaminantes con una estación ubicada en nuestra casa de altos estudios y sirviendo de apoyo a cátedras en la capacitación y concientización a fin de mantener y mejorar la calidad ambiental.
- 5) Los resultados obtenidos y los próximos permitirán establecer nuevos objetivos como son la comparación entre las diferentes técnicas de monitoreo y la validación de modelos de dispersión atmosférica. La aplicación de modelos de difusión permitirán predecir la contaminación de nuevas fuentes emisoras.

REFERENCIAS:

- (1) Evaluación Epidemiológica de Riesgos Causados por Agentes Químicos Ambientales. Generalidades y Toxicología - Tomo I - Ministerio de Salud y Acción Social - Secretaria de Salud - Buenos Aires - 1988.
- (2) Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire - Noel de Nevers - Mc Graw Hill - México - 1997.
- (3) Libro de Normas ASTM - Global Engineering Documents - Global Info Centres - U.S.A.

ESTUDIO DE LAS MASAS DE AIRE EXTREMAS EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

A. Coronel*, M.A. Lara** y S. Bischoff**

*Facultad de Ciencias Agrarias - UNR - Campo Experimental Villarino C.C. 14 - 2123 Zavalla

**Dpto. Ciencias de la Atmósfera. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

†Instituto de Física Rosario -Email: malara@fceia.unr.edu.ar. Fax: (041) 264008 - 27 de Febrero 210 bis - 2000 Rosario

RESUMEN

La atmósfera presenta situaciones persistentes asociadas, en general, a estados de tiempo críticos que pueden afectar el desarrollo económico de una región (excesos y déficit de agua, olas de calor, olas de frío). Las masas de aire asociadas también pueden tener alguna característica que las diferencie del comportamiento medio. El objetivo de este trabajo es continuar con el análisis de algunas características de las masas de aire, como los extremos en el primero y último decil, su persistencia, los estados de tiempo, los campos de circulación y su variación temporal en Resistencia, Ezeiza y Comodoro Rivadavia.

Los resultados muestran que: 1.-El rango de variación de las masas de aire extremas cálidas es mayor que el de las masas de aire extremas frías. 2.-En invierno las masas extremas frías son más persistentes en Comodoro Rivadavia y en verano en Resistencia. En cuanto a las masas de aire extremas cálidas, Resistencia es afectada por las más persistentes en invierno y Comodoro Rivadavia en verano. 3.-La ocurrencia de extremos en forma simultánea es máxima entre Ezeiza y Resistencia. En cambio entre Comodoro Rivadavia y Ezeiza es máxima la ocurrencia de extremos con una diferencia de un día.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la Climatología Sinóptica de los sistemas que afectan una región permitirá mejorar el diagnóstico y eventualmente el pronóstico de los mismos. La importancia de este entendimiento tiene un carácter particularmente importante si se trata de situaciones meteorológicas críticas que pueden afectar de diferentes maneras la economía de una región. En particular las variables temperatura, humedad y precipitación son las que tienen mayor incidencia en el análisis de los problemas bioclimáticos y están estrechamente vinculadas a las masas de aire presentes.

Diversos investigadores clasificaron y analizaron las masas de aire en distintas regiones del mundo (Garstang et al, 1967; Harris and Ho, 1969; Gray, 1968; Bryson, 1966; Davis and Kalkstein, 1990; Kalkstein et al, 1996).

Particularmente las masas de aire que afectan a la Argentina también tendrán ciertas particularidades, ya que están caracterizadas por la disponibilidad de humedad, los movimientos forzados de ascenso y descenso producidos por el efecto de la cordillera de Los Andes, y la circulación obligada sobre áreas oceánicas a la que se ven sometidas algunas de ellas antes de ingresar al continente. Entre los trabajos de la bibliografía argentina referentes a las características de las masas de aire que afectan diferentes regiones del país se pueden citar: (Hoffmann 1971, Scian et al., 1978; Bischoff et al., 1989).

En nuestro hemisferio también se han realizado importantes estudios sobre el impacto de situaciones persistentes sobre el clima de una región. Entre ellos se encuentran: (Grandoso et al., 1955; Scian, 1970, Malaka et al., 1980; Berbery et al., 1987). En todos estos trabajos se analiza las características y trayectoria de las masas de aire asociadas.

Coronel et al., (1998), identificaron "olas de calor" y "olas de frío" en el sur santafesino y norte bonaerense a través del análisis de la intensidad y persistencia de las anomalías de temperatura y de la temperatura adiabática potencial equivalente (variable que caracteriza las masas de aire) en 850 hPa., encontrando que las "olas de calor" y "olas de frío" ocurren tanto en verano como en invierno y son más intensas en la estación invernal.

El objetivo de este trabajo es proseguir con el análisis de las masas de aire que afectan a la República Argentina a través del estudio de los valores extremos de la temperatura adiabática potencial equivalente en Resistencia, Ezeiza y Comodoro Rivadavia a fin de ampliar el conocimiento de la estructura espacial y temporal de las masas de aire extremas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información utilizada es la que corresponde a los datos diarios de radiosondeos de temperatura (t) y temperatura de punto de rocío (td) de las estaciones de Resistencia (SIS) (27°27'S, 59°03'W), Ezeiza (EZE) (34°49'S, 58°32'W) y Comodoro Rivadavia (CRV) (45°47'S, 69°30'W) en 850 hPa. (1800 m.) de los inviernos (junio, julio y agosto) y veranos (diciembre, enero y febrero) de 1958 a 1984 a las 12 TMG. Los datos fueron cedidos por el Servicio Meteorológico Nacional.

Una masa de aire se puede caracterizar por una serie de parámetros. Estos son afectados por diferentes procesos atmosféricos cuando ella está en movimiento. Petterssen (1940) enuncia los procesos para los cuales los parámetros son conservativos o no, y se observa que no existe ningún elemento conservativo para todos los procesos. Sin embargo los que mantienen esta característica en los procesos adiabático seco y saturado (procesos fundamentales en una masa de aire en movimiento (Iribarne (1965)) son la temperatura adiabática potencial equivalente (θ_{ae}) y temperatura adiabática potencial de bulbo húmedo (θ_b). Para la realización de este trabajo se eligió la θ_{ae} para caracterizar las masas de aire cuya distribución y estadística básica puede encontrarse en Bischoff y Coronel (1989).

Según Rossby (1932) θ_{ae} se puede expresar como: $\theta_{ae} = \theta \exp (Lv/Cpd Ts)$

donde: Lv: calor latente de vaporización; Ts: temperatura adiabática de saturación; θ : temperatura potencial; w: relación de mezcla, Cpd: calor específico del aire seco.

A partir de esta expresión se puede observar que la θ_{ae} depende de la temperatura y del contenido de vapor de agua en la atmósfera.

Para obtener la serie de valores extremos de la temperatura adiabática potencial equivalente en verano e invierno, se toman los casos comprendidos entre el valor mínimo de la serie y el valor del primer decil y el valor del último decil y el máximo de la serie para cada estación analizada.

El estudio de las series de los valores extremos se realiza a través del cálculo de las distribuciones de frecuencia y del análisis de persistencia. Además se analiza la ocurrencia simultánea y/o desfasada de valores extremos en las tres estaciones estudiadas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS DE LA SERIE DE VALORES EXTREMOS

En primer lugar se calcularon los valores de θ_{ae} correspondientes a los deciles en cada una de las series con el objeto de analizar las características de los valores extremos en cada una de ellas y comparar.

En la Tabla I se puede observar que, en las dos estaciones, las diferencias entre los valores que definen el primer (último) decil en SIS y EZE es menor a las diferencias entre EZE y CRV. Al mismo tiempo puede advertirse que estas diferencias son más importantes en verano. En cuanto a las diferencias entre los últimos deciles de SIS y EZE y, EZE y CRV son significativamente más grandes que las variaciones en el primer decil, tanto en verano como en invierno. Esto indica que las mayores diferencias entre las latitudes se manifiesta en la presencia de las masas de aire más cálidas, con una diferencia entre SIS y CRV en, términos climáticos, de 36 °C indicando realmente diferencias en las masas de aire y en los estados de tiempo asociados.

Estación	Primer decil		Ultimo decil	
	Invierno	Verano	Invierno	Verano
SIS	298.6	313.7	332.2	349.1
EZE	292.0	305.9	317.8	333.9
Comodoro	284.5	293.9	301.4	312.9

Tabla I: Primer y último decil de las series de θ_{ae}

Otra característica asociada a la función de distribución se puede analizar a partir de la diferencia entre los valores extremos y los límites del primero y noveno decil.

La Tabla II permite inferir que las diferencias entre el primer decil y los mínimos absolutos de las series de θ_{ae} disminuyen con el aumento de la latitud en verano e invierno, indicando una menor variabilidad de las masas de aire en CRV. En cuanto al último decil se observa que las máximas diferencias ocurren en EZE en ambos períodos.

Estación	Primer decil		Ultimo decil	
	Invierno	Verano	Invierno	Verano
SIS	14.1	14.7	33.5	32.3
EZE	11.3	11.8	42.8	44.3
Comodoro	08.3	08.3	15.9	24.2

Tabla II: Diferencias entre los valores del primero y noveno decil con los mínimos y máximos absolutos, respectivamente, de las series de θ_{ae} en verano e invierno.

PERSISTENCIA DE LOS VALORES EXTREMOS

Se analizó la persistencia de los valores extremos de θ_{ae} a través del estudio de la duración de las secuencias de días en que ocurren estos casos críticos.

En la figura 1a) y 1b) se observa que en CRV se produce una duración máxima de seis días con valores de θ_{ae} comprendidos en el primer decil durante el invierno. En cuanto a los valores que superan al noveno decil la duración máxima ocurren en SIS, y es de ocho días, y va disminuyendo al aumentar la latitud.

Durante el verano SIS presenta la mayor persistencia de los valores de θ_{ae} menores al primer decil y una disminución menos pronunciada en las frecuencias con el aumento de la duración. Estas mismas características se observan en CRV al analizar las distribuciones de frecuencia de los valores de θ_{ae} mayores al último decil.

Este comportamiento parece indicar que la persistencia de las masas de aire caracterizadas a partir de los valores de θ_{ae} ubicados en el extremo de la función de distribución está asociada a la ocurrencia de campos de circulación que, durante el invierno muestra menos posibilidad de entrada de aire desde el sur en SIS y del norte en CRV. Durante el verano las situaciones de circulación mostrarían un comportamiento opuesto. En EZE las mayores persistencias se muestran entre los 2 y 5 días para los valores menores al primer decil y entre 3 a 6 días para los valores mayores que el noveno decil, indicando un comportamiento bastante similar. Puede observarse que para ambos extremos y en todas las estaciones la distribución de frecuencia de la persistencia puede ser muy bien representada por un modelo simple de cadena de Markov (de primer orden).

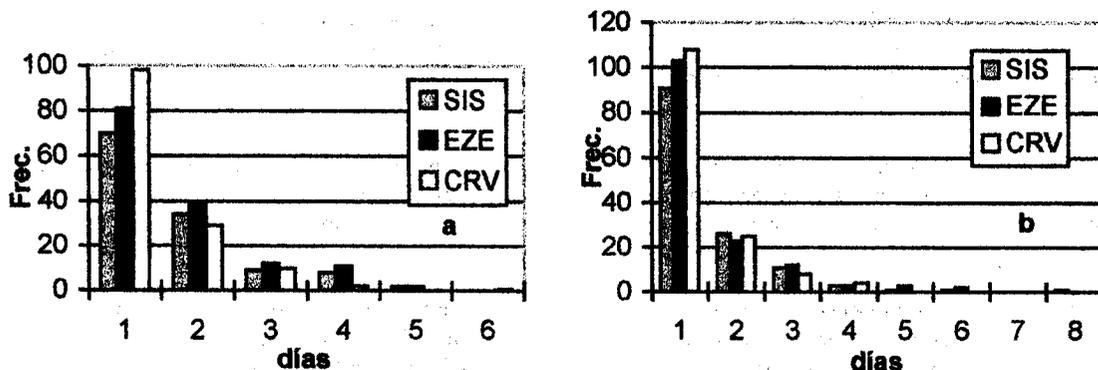


Figura 1: Distribución de frecuencias de la duración de días con valores menores al: a) primer decil y b) último decil, en invierno (1958/1984) en SIS, EZE y CRV.

FECHAS DE OCURRENCIA DE VALORES EXTREMOS

Otro paso en el estudio de las características del comportamiento de los valores extremos de θ_{ae} consistió en analizar el comportamiento espacial en función del tiempo de ocurrencia. Para ello se determinaron las fechas de ocurrencia de los valores extremos de θ_{ae} menores al primer decil entre SIS y EZE y entre EZE y CRV, en verano e invierno.

En invierno el 65% de los extremos de θ_{ae} que ocurren en SIS también se manifiestan en EZE el mismo día y en algunos casos se alcanza un desfase de hasta cuatro días. En verano el porcentaje es del 67% y el desfase puede llegar hasta cinco días.

En cuanto a la relación entre EZE y CRV el 50% y el 42%, en invierno y verano respectivamente, de los valores extremos que se manifiestan en EZE ocurren el mismo día en CRV o tienen un desfase de hasta cinco días.

Las frecuencias porcentuales para estos desfases, Figura 2a) y 2b), muestra que entre SIS y EZE el mayor porcentaje ocurre para las fechas en que en ambas estaciones, y al mismo tiempo, las masas de aire toman valores menores a los primeros deciles, tanto en verano como en invierno. Sin embargo este porcentaje es menor en verano y aumentan las frecuencias relativas para los desfases de dos a tres días.

Entre EZE y CRV el mayor porcentaje se observa para un día de desfase tanto en verano como en invierno. En este caso las frecuencias porcentuales correspondientes a los desfases cero y dos no varían significativamente en ambas estaciones.

Esto estaría indicando características del campo de circulación diferentes al norte y al sur de la estación EZE, tanto en verano como en invierno.

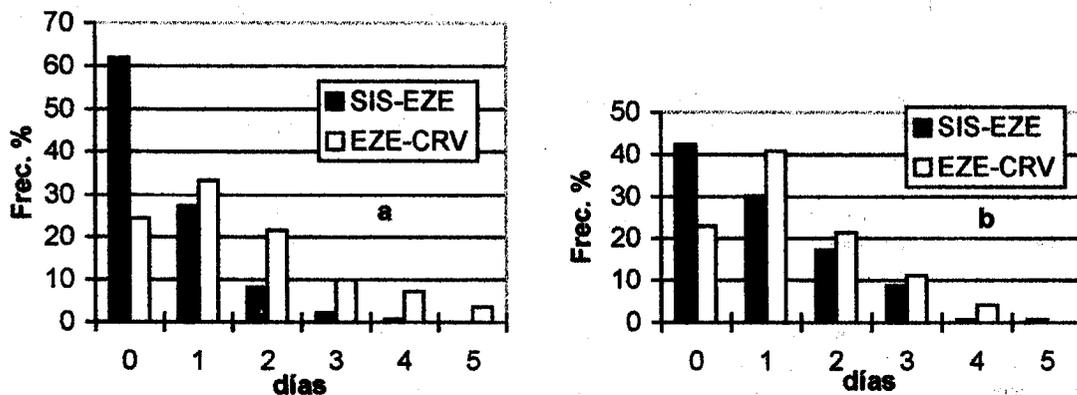


Figura 2: a) Distribución de frecuencias porcentuales de casos menores al primer decil desfasados de 0 a 5 días en: a) invierno y b) verano entre SIS y EZE y entre EZE y CRV.

CONCLUSIONES

Las series de los valores extremos de θ_{ae} obtenidas a partir del primer y último decil de la distribución, muestran que en verano e invierno: el rango de variación de las masas de aire extremas cálidas es mayor que el de las masas de aire extremas frías. Además el rango de variación de las masas de aire extremas frías disminuye con la latitud y el de las masas extremas cálidas es mayor en EZE.

A partir del análisis de la persistencia a través de la duración de una secuencia de valores extremos de θ_{ae} se puede concluir que: en invierno las masas extremas frías son más persistentes en CRV y las masas extremas cálidas en SIS. En verano en SIS las masas de aire más persistentes son las extremas frías y en CRV las masas de aire extremas cálidas tienen la misma característica.

Del análisis de las fechas de ocurrencia de los valores extremos fríos se puede inferir que: en verano e invierno el 65% de las masas frías extremas que llegan a SIS están asociadas a masas frías extremas en EZE que la afectan el mismo día o hasta cinco días antes. El mayor porcentaje de casos se observa con ocurrencia simultánea, lo cual implicaría que las masas frías extremas se extienden en toda la región central y noreste del país. Entre EZE y CRV el mayor porcentaje se observa para un día de desfase tanto en verano como en invierno.

BIBLIOGRAFÍA

- Berbery E.H. y Nogués-Paegle J. (1989): "Air mass trajectories near blocking episodes on South America". *Anales Third International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*.
- Bischoff S. y Coronel A. (1989): "Características estadísticas de las masas de aire en la tropósfera de la región húmeda argentina". *Geoacta*, vol. 16.
- Bryson, R., (1966): "Air masses, streamlines and the Boreal forest". *Geogr. Bull.*, 8.
- Coronel A., Bischoff S. y Lara M.A., (1998): "Persistencia e intensidad de las anomalías térmicas en la tropósfera de EZE: "olas de calor" y "olas de frío". Aceptado para su publicación en *Energías Renovables y Medio Ambiente*. vol. 5.
- Davis R.E. and Walker D.R., (1992): "An upper-air Synoptic Climatology of the Western United States". *Journal of Climate*, Vol. 5, 1449-1467.
- Garstang, M., LaSeur, N. and Aspliden, (1967): "Equivalent potential temperature as a measure of the structure of the tropical atmosphere". *Final Report, Grant N° DA-AMC-28-043-66-625, Report N° 67-10*, Florida State Univ. Dept. Of. Met.
- Grandoso H. y Nuñez M.N. (1955): "Análisis de una situación de bloqueo en la parte austral de América del Sur". *Meteoros* 5, 35-54.
- Gray, W., (1968): "Global view of the origin of tropical disturbances and storms". *MWR*, 96(10), 669-700.
- Harris, B., and Ho, F., (1969): "Structure of the troposphere over Southeast Asia during the summer monsoon month of July". *Scientific Report N° 3*, Hawaii Institute of Geophysics.
- Hoffman, J., (1971): "Frentes, masas de aire y precipitaciones en el norte argentino". *Meteorológica* Vol. II.
- Iribarne J.V. (1965): "Termodinámica de la atmósfera". EUDEBA, (UBA).
- Kalkstein, L. and Nichols, M., (1996): "A new spatial synoptic classification: application to air-mass analysis". *Int. J. of Climat* 16, 983-1004.
- Malaka I. y Nuñez S. (1980): "Aspectos sinópticos de la sequía que afectó a la República Argentina en el año 1962". *Geoacta*, 10.
- Rossby C.G. (1932): "Thermodynamics applied to air mass analysis". *MIT Meteorological Paper*, 1, N° 3.
- Scian B.V., (1970): "Situación sinóptica asociada a las temperaturas extremas observadas en junio de 1967". *Meteorológica*, Vol. I, N° 1.
- Scian B.V., Piacentini M. de y Vargas W., (1978): "Masas de aire en la República Argentina". *Informe Interno del Servicio Meteorológico Nacional, Serie C*, N° 21.

MEDICIONES DE DIOXIDO DE AZUFRE EN AIRE MEDIANTE METODOS ACTIVOS Y PASIVOS

Jorge L. Ripoli *, Jorge Reyna Almandos *#, Vilma G. Rosato *, Juan C. Alberino *,
Mario E. Rosato *, María J. Maresca*, Sebastian Solari*

* U.T.N. Facultad Regional La Plata
Calle 60 esq. 124 - (1900) La Plata - Fax (021) 82 3155
C.I.Op. (Centro de investigaciones Ópticas)
C.C. 124 - (1900) La Plata - Fax (021) 71 2771
EMAIL postmaster@ciop.edu.ar

RESUMEN

El trabajo tiene como objetivos el estudio, desarrollo y aplicación de técnicas para la medición de contaminantes atmosféricos derivados del azufre en zonas de La Plata y alrededores del Polo Petroquímico mediante métodos activos y pasivos.

En la obtención de datos sobre concentraciones de dióxido de azufre se utiliza un método activo, el analizador de SO₂ por fluorescencia en el UV. Los datos logrados se comparan con los que se obtienen utilizando técnicas pasivas de medición química y biológicas, tales como la tasa de sulfatación, que se constituye en uno de los indicadores válidos para estimar el estado general del aire en una zona determinada y la comparación de la flora líquénica de las áreas en estudio con la de otras no contaminadas.

Todas las determinaciones se correlacionan con los factores climáticos y además, para que resulten comparativas en sí mismas, se efectúan en diversas zonas consideradas de "mayor riesgo", que se contrastan con otras consideradas de "bajo riesgo".

INTRODUCCION

Nuestra atmósfera va cambiando continuamente su composición, su temperatura y su capacidad de autodepuración y la actividad humana en estos últimos cincuenta años ha incrementado en forma alarmante la velocidad de cambio en todo el mundo.

Entre los cambios negativos que ocurren en la atmósfera se encuentran : las lluvias ácidas, la corrosión de materiales, la afección de la capa de ozono, el smog y los olores. La calidad de vida de los habitantes de La Plata, Berisso y Ensenada se ve afectada por esos cambios por lo que resulta imperioso caracterizar la contaminación atmosférica existente y sugerir su remediación.

La planificación requerida para minimizar las perturbaciones dentro de períodos razonables e implementar acciones tendientes a lograr los niveles de calidad de aire establecidos en las leyes vigentes, depende más que nunca de la adopción de estrategias de análisis y evaluación adecuadas a dicha problemática.

MEDICIONES UTILIZANDO METODOS PASIVOS

En el presente trabajo se emplean dos métodos pasivos: el de tasa de sulfatación y el uso de líquenes como indicadores de referencia.

En el primer caso la metodología que se emplea se basa en los lineamientos indicados en la norma de la American Society for Testing and Materials, A.S.T.M. D-2010 para la evaluación de la sulfatación total en la atmósfera producida por compuestos sulfurados provenientes de distintas fuentes. Para la estimación de la actividad sulfatante atmosférica se utiliza el método de los cilindros de peróxido de plomo. Los datos analíticos se expresan en miligramos de sulfato por centímetro cuadrado y por día (mg SO₄/cm² . día).

El sensor está formado por un cilindro acanalado de plástico sobre el que se coloca una gasa de algodón sobre la cual se coloca el material de empaste dióxido de plomo (PbO₂) con mucilago de goma tragacanto, consistente en una mezcla de: goma tragacanto, alcohol etílico 96%, agua desmineralizada y conservante, midiéndose la superficie empastada.

El sensor se coloca en la estación de muestreo para su exposición durante 30 días. La misma debe estar construida de modo de proteger al sensor de los agentes externos permitiéndole la libre circulación de aire a través de él.

Luego de la exposición se determinan las respectivas tasas de sulfatación mediante las técnicas analíticas indicadas en la citada norma utilizando un fotómetro marca Merck mod. S Q 118. Los resultados obtenidos se comparan entre sí y se correlacionan con los datos meteorológicos y valores obtenidos por otros métodos.

Ubicación de los detectores pasivos de tasas de sulfatación

Se han elegido tres sitios para detección pasiva de tasa de sulfatación.

Uno de ellos se ubica en la terraza del edificio de laboratorios de investigación de la F.R.L.P., situado en la calle 60 esq. 125, frente al polo petroquímico. Es el detector más cercano a dicho agrupamiento industrial. El dispositivo se ha colocado en un lugar completamente abierto y no está afectado por ningún edificio de magnitud significativa.

El segundo lugar de detección está en la ciudad de Ensenada situado en la calle San Martín entre Marqués de Avilés y Sarmiento, es decir al este noreste (E.N.E.) del polo petroquímico, no interponiéndose ningún edificio de tamaño considerable.

El tercer lugar corresponde a la ciudad de La Plata, prácticamente en el centro de la manzana ubicada entre las calles 1 y 2, 35 y 36. Las dos primeras calles tienen intenso tránsito de vehículos de motor a explosión y además la influencia del movimiento de trenes por la vía férrea situada sobre calle 1, que es la entrada y salida ferroviaria de la ciudad. Se ha utilizado una amplia terraza que tiene una gran vinculación con la atmósfera que la rodea.

Relevamiento de la flora líquénica

Se efectuó un relevamiento de la flora líquénica en los alrededores del Polo Petroquímico. Los ejemplares se observaron en microscopio estereoscópico y microscopio óptico para identificar las especies y posibles signos de daño. Se encontraron 21 especies, las que comparadas con las de otras zonas alejadas de los focos contaminantes, da como resultado que se trata de una flora empobrecida. Sin embargo, la presencia de estas especies indica que el nivel de contaminación atmosférica no alcanza a provocar daños considerables en ellas caracterizándose como bajo, lo que corresponde a lo medido por los otros métodos.

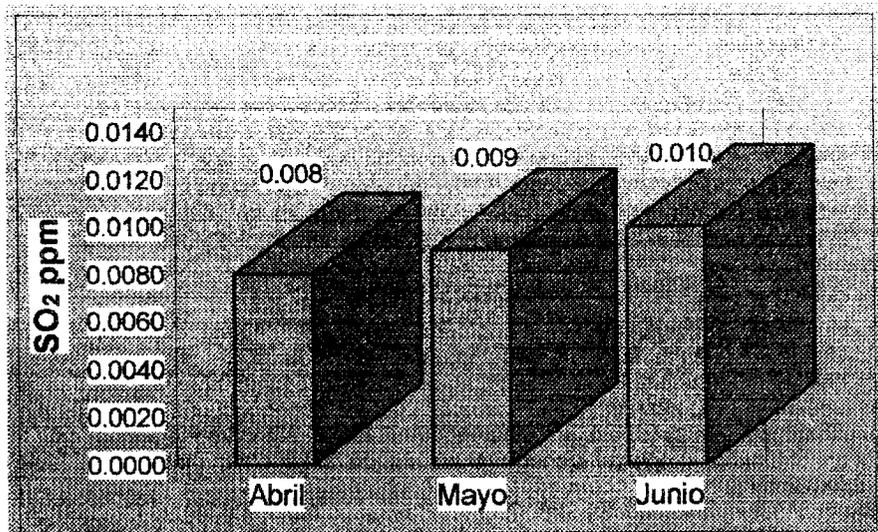
MEDICIONES POR METODOS ACTIVOS

Simultáneamente se midió dióxido de azufre en la F.R.L.P. con un analizador continuo marca Siegler Measurement Controls Corporation mod. 9850, SO₂ fluorescent U.V. Analyzer, analizando el aire que atraviesa una celda en la que el mismo es iluminado por una lámpara de zinc. Este equipo viene registrando datos desde el año 1995 a la fecha. Los promedios mensuales se indican en la Figura 1. Periódicamente se hicieron confrontaciones de estos valores con mediciones por el método químico de la pararrosanilina -según norma A.S.T.M.D - 2914-78, Sec. 11, Test methods for sulfur dioxide contents of the atmosphere- con resultados concordantes.

RESULTADOS

Los promedios mensuales de SO₂ en el período abril - junio de 1998 se presentan en la Figura 1 correspondiendo a los datos de una única estación de muestreo ubicada en la Facultad Regional La Plata. Dichos valores se encuentran por debajo de lo establecido en la Legislación vigente en la Provincia de Buenos Aires.

Figura 1. Promedios mensuales de SO₂ medidos en la F.R.L.P. (1998). Método activo



Los resultados de la tasa de sulfatación que se muestran en la Figura 2 corresponden a los mismos meses. Los valores de los meses de Mayo y Junio, están por debajo del límite mínimo de detección del instrumental utilizado para las mediciones correspondientes (inferior a 0,0003 mg. SO₄/cm² día).

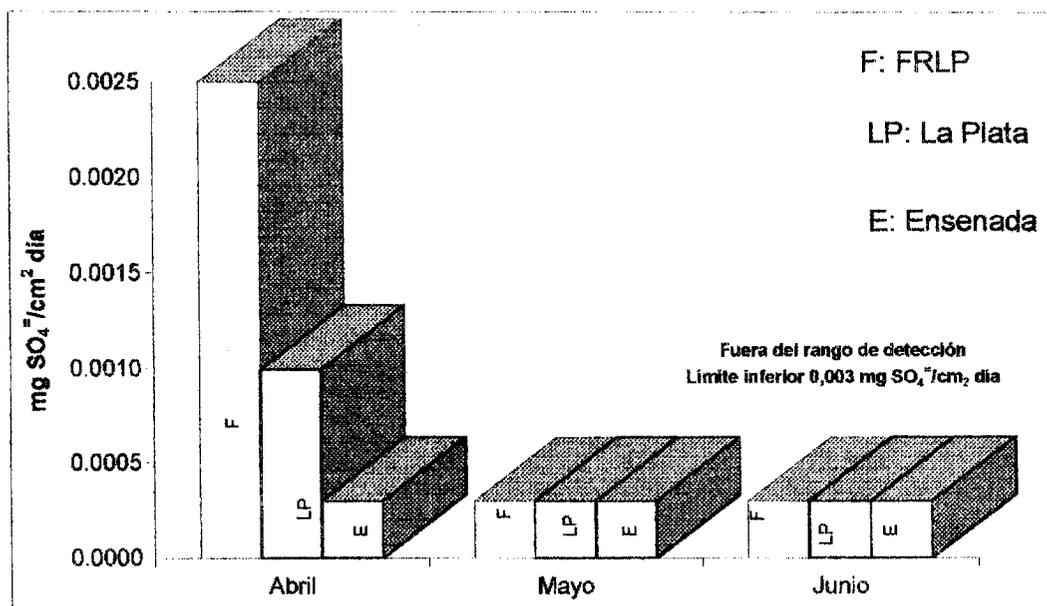


Figura 2. Sulfatación total atmosférica. Método pasivo.

La tasa de sulfatación integra la presencia de dióxido de azufre (SO₂) y los demás compuestos tales como, Trióxido de azufre (SO₃), ácido sulfhídrico (SH₂) y mercaptanos (R-SH). La Figura 2 contiene valores tomados en diferentes estaciones de muestreo, por lo que se ven fuertemente afectados por la variación de los parámetros meteorológicos que muestra la Tabla 1. En los resultados del mes de abril se obtuvo el mayor valor para la Facultad y menor para La Plata mientras que en la ciudad de Ensenada la tasa de sulfatación fué muy baja. Esto se debe probablemente a que la acción meteorológica provocó una gran dispersión de los contaminantes en estudio.

Durante los meses de mayo y junio se observa que los valores medidos descendieron significativamente por influencia de la dirección y velocidad de los vientos así como las lluvias predominantes en este periodo.

Datos Meteorológicos

Las condiciones meteorológicas reinantes en el trimestre de muestreo informado se dan en la Tabla 1.

Mes	Dirección del Viento	Velocidad del Viento (Km/h)	Lluvias (mm)	Humedad (%)	Temperatura (°C)
Abril	Todas	1.5 – 10	99.5	76 – 97	15.5 – 21
Mayo	Sur Oeste Sur Norte	1.5 – 7	198	76 – 95	12.5 – 18
Junio	Sur Oeste Sur	5 – 95	55	75 – 92	8.5 – 14.5

Tabla 1. – Datos meteorológicos correspondientes al trimestre Abril, Mayo, Junio de 1998.

AGRADECIMIENTO: Se agradece el apoyo brindado por el C.I.Op. (CONICET-C.I.C.), la Facultad Regional La Plata y alumnos de la Carrera de Ingeniería Química de la misma.

DINAMICA HIDRICA ALUVIONAL Y ASENTAMIENTOS POBLACIONALES EL CASO DE LA CUENCA XV EN LA CIUDAD DE NEUQUEN

Raúl Rapacioli

Centro Experimental de la Vivienda y el Equipamiento Urbano (CEVEqU)
Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Comahue
Buenos Aires 1400, (8300) Neuquén – Telefax: 099-490356 – email: rrapacio@uncoma.edu.ar

RESUMEN

Se evalúa la dinámica hídrica aluvional de la Cuenca XV de la Ciudad de Neuquén, donde la Municipalidad prevé realizar una urbanización para relocalizar pobladores que se encuentran en asentamientos espontáneos en franjas de seguridad de grandes ductos. La escorrentía se calculó con el Método de la Curva Número del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos utilizando tres procedimientos para la transformación lluvia-caudal considerando tres situaciones bien diferenciadas de la cuenca:

- a. Cuenca en estado actual (natural).
- b. Cuenca corregida con obras de mitigación de aluviones.
- c. Cuenca con cambios en las características de cobertura y pendientes debido a la urbanización y con obras de mitigación de aluviones.

Posteriormente se describen los efectos de la urbanización en la escorrentía y se realiza una serie de conclusiones y recomendaciones que surgen del análisis efectuado, atendiendo a la mitigación de impactos negativos que afecten la calidad de vida.

INTRODUCCION

La Cuenca XV es parte de un sistema de cuencas aluvionales que afectan, con su dinámica hídrica, a la planta urbana de la Ciudad de Neuquén. Dicha cuenca no cuenta con obras de mitigación de aluviones y posee un alto potencial de escorrentía cuando se producen sobre ella precipitaciones de importancia. De acuerdo a pautas de planificación de la Municipalidad de Neuquén, en la Cuenca XV se prevé realizar una urbanización para relocalizar un gran número de vecinos. Esta circunstancia provocará que un gran sector de la misma se impermeabilice, y por ello la escorrentía se verá incrementada para un mismo episodio lluvioso. Esto implica un aumento del riesgo para la población que se encuentra aguas abajo de la cuenca.

Para contrarrestar los efectos negativos que tendrá un aumento en las crecidas aluvionales, es imprescindible planificar la corrección de la cuenca mediante trabajos y obras de corrección aluvional que eviten su degradación y hagan controlables los volúmenes de agua originados por la precipitación. Para ello, fue necesario realizar una caracterización de la cuenca en sus aspectos físicos e hidrológicos y también de las precipitaciones sobre la región, de manera de obtener, mediante simulación, la escorrentía con la máxima precisión posible.

Se calculó la escorrentía que producirían tormentas de diseño de 4 horas de duración y tiempos de recurrencias de 25, 50 y 100 años con el Método de la Curva Número del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos [1], utilizando el Hidrograma Urbano de Santa Bárbara (HUSB), el Hidrograma Unitario del Servicio de Conservación de Suelos (HUSCS) y el Hidrograma Unitario de Clark (HUC) para la transformación lluvia-caudal considerando diversas situaciones de la cuenca, estas son: a) estado actual; b) corregida; c) corregida con 30% de impermeabilización y d) corregida con 50% de impermeabilización. Los resultados obtenidos servirán de base para el diseño de obras y planes de trabajos dirigidos que mitigarán el efecto negativo de los aluviones.

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS Y DE ESCORRENTIA DE LA CUENCA

La cuenca aluvional XV [2], se encuentra en la zona de barda sobre sedimentitas denominadas Grupo Neuquén de edad cretácica. El mismo está compuesto por rocas estratificadas, las cuales están constituidas por conglomerados, areniscas (gruesas, medias y finas) y arcillitas de tono generalmente rojizo. La clasificación hidrológica de los suelos que componen la cuenca corresponden al tipo C, con "moderadamente alto potencial de escorrentía". Son suelos de infiltración lenta cuando se encuentran muy húmedos. En cuanto a la cobertura vegetal de los suelos, se puede resumir diciendo que existen especies que componen la estepa arbustiva. La combinación del tipo de suelo hidrológico, cobertura vegetal y condición de humedad antecedente en su estado medio permiten obtener, de acuerdo a la Metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos un índice de Curva Número CN: 80. Este es un valor elevado, que evidencia que un gran porcentaje de la precipitación que cae sobre la cuenca, escurrirá superficialmente. Las características físicas principales de las cuencas se describen en Tabla 1.

Tabla 1 - Características físicas de la Cuenca XV

A	H	L	i	i _c
5,11	83,00	3,00	2,77	1,20

Siendo: A: área de la cuenca (Km²); H: desnivel entre el punto más elevado de la cuenca con el punto más bajo de la misma (m); L: Longitud del cauce principal (Km); i: pendiente media del cauce principal (%), i_c: pendiente de compensación del material aluvional (%).

PRECIPITACION

Las precipitaciones utilizadas en la determinación de la escorrentía, se obtienen del Modelo de Precipitaciones Intensas para la Región del Alto Valle del Río Negro [3], asociadas a las recurrencias recomendadas para el diseño de obras de mitigación de aluviones y corrección de cuencas (TR: 25 años, TR: 50 años y TR: 100 años). En Tabla 2 se muestran los montos totales de precipitación para una duración de 4 horas.

Tabla 2 – Precipitaciones para tormentas de 4 horas de duración

TR (años)	25	50	100
P(mm)	64	75	85

En Tabla 3, se dan los valores de los hietogramas acumulados para cada uno de los montos de precipitación de la tabla anterior.

Tabla 3 – Hietogramas acumulados de las precipitaciones adoptadas (valores en mm)

Tiempo	0,5 hr	1,0 hr	1,5 hr	2,0 hr	2,5 hr	3,0 hr	3,5 hr	4,0 hr
ΣP ₂₅	7,68	15,36	35,20	54,40	58,24	61,44	62,72	64,00
ΣP ₅₀	9,00	18,00	41,25	63,75	68,25	72,00	73,50	75,00
ΣP ₁₀₀	10,20	20,40	46,75	72,25	77,35	81,60	83,30	85,00

CALCULO DE LA ESCORRENTIA

En una parte de la Cuenca XV, el Municipio tiene previsto efectuar la urbanización en cuestión y ello provocará un cambio sustancial en las características físicas de la cuenca. Se tendrá entonces áreas permeables y otras impermeables, en las que habrá que calcular la escorrentía en forma separada. En el área impermeable *directamente conectada* el agua caída escurre hacia la salida de la cuenca y no se considera que haya infiltración. En el área impermeable *no conectada directamente* hacia la salida de la cuenca, se considera que el agua precipitada aporta hacia el área permeable y es adicionada a la precipitación que cae sobre esa área y participa en el proceso de infiltración [4] (ver Figura 1)

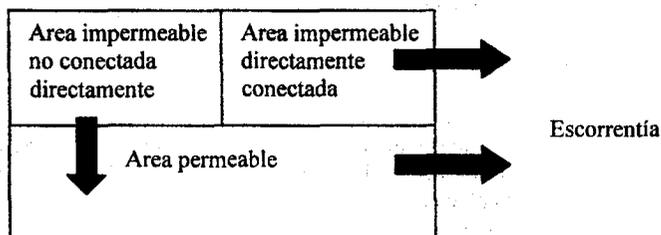


Figura 1

Con el Método de la Curva Número (CN) se obtuvo la escorrentía considerando CN=98 para la parte impermeable conjuntamente con CN=80 para la parte permeable. Las ecuaciones del método son:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad (1)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

$$Ia = S^{0,55} \quad (3)$$

Donde: Q: escurrimiento (mm); P: precipitación (mm); S: retención potencial máxima (mm); Ia: abstracción inicial (mm); CN: curva número. La transformación lluvia-caudal se efectuó utilizando el Hidrograma Urbano de Santa Bárbara (HUSB), el Hidrograma Unitario del Servicio de Conservación de Suelos (HUSCS) y el Hidrograma Unitario de Clark (HUC), considerando varias situaciones o estados de la cuenca; estos son:

- a. Cuenca en estado natural. Es decir la cuenca sin ninguna acción antrópica.

- b. Cuenca corregida. En este caso se considera cual sería el estado final que alcanzaría el perfil longitudinal de la cuenca, de contarse con obras que regulen los volúmenes de agua y la emisión de sedimentos. De acuerdo a estudios realizados la pendiente final sería 1,2% (pendiente de compensación del sedimento).
- c. Cuenca corregida con un 30% de su superficie impermeable, con 50% de la misma directamente conectada (AImp30%(50%IDC)).
- d. Cuenca corregida con un 50% de su superficie impermeable, con 50% de la misma directamente conectada (AImp50%(50%IDC)).
- e. Cuenca corregida con un 30% de su superficie impermeable, con 100% de la misma directamente conectada (AImp30%(100%IDC)).
- f. Cuenca corregida con un 50% de su superficie impermeable, con 100% de la misma directamente conectada (AImp50%(100%IDC)).

Los valores promedios de caudales máximos obtenidos, asociados a recurrencias y para cada estado o situación de la cuenca, se detallan en Tabla 4.

Tabla 4 - Caudales máximos promedios para diversos estados de la cuenca (valores en m³/s)

Estados de la cuenca	Promedios HUSB, HUSCS y HUC.		
	TR: 25 años	TR: 50 años	TR: 100 años
Caso a. (cuenca natural)	9,91	13,35	16,73
Caso b. (cuenca corregida)	7,05	9,50	11,92
Caso c. (AImp30%(50%IDC)).	9,98	12,74	15,41
Caso d. (AImp50%(50%IDC)).	10,73	13,45	16,08
Caso e. (AImp30%(100%IDC)).	12,17	15,14	17,97
Caso f. (AImp50%(100%IDC)).	13,24	16,14	18,90

EFFECTOS DE LA URBANIZACION EN LA ESCORRENTIA

En la tabla anterior se puede observar que la impermeabilización de la cuenca, en el grado que fuere, provoca un aumento de la escorrentía, aunque ésta tenga obras de corrección. Para tener una idea más acabada de los cambios que se producen por la impermeabilización de parte de la superficie de la cuenca, se realiza un análisis de la escorrentía mediante el Método HUC y para la recurrencia TR: 50 años, considerando los distintos estados de la cuenca.

En la Figura 2 se muestran los hidrogramas obtenidos con la cuenca en estado natural y corregida. Es notable cómo la corrección de la cuenca mediante obras que permitan alcanzar la pendiente de compensación del material aluvional, cambia la forma del hidrograma natural, provocando un amortiguamiento de la onda de crecida y el retardo de la misma. El retardo obtenido entre los caudales máximos es de $\Delta t = 1,5$ horas y el amortiguamiento $\Delta Q = 4$ m³/s.

Cabe aclarar que se pueden aumentar los valores de retardo y amortiguamiento estableciéndose normas concretas de manejo de la cuenca, que incluyan por ejemplo: forestación de la cuenca de recepción, creación y ubicación estratégica de estanques de retención, etc. En la Figura 3, se han agregado a los hidrogramas de la Figura 2, los hidrogramas obtenidos considerando los grados de impermeabilidad del 30% y 50% con el 100% del área impermeable conectada.

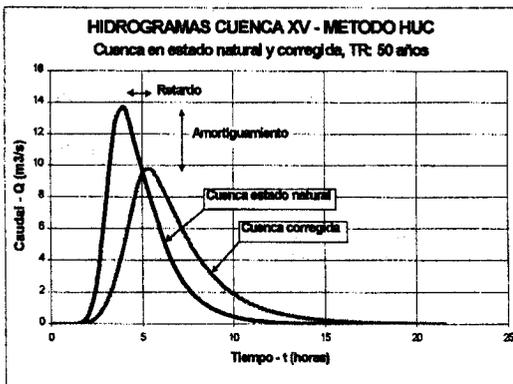


Figura 2

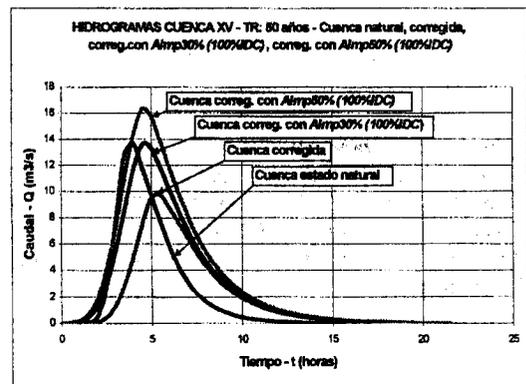


Figura 3

En la Figura 3 se observa la influencia negativa que trae aparejada la impermeabilización de la cuenca. La escorrentía aumenta, aun con la cuenca corregida, a valores similares y superiores, en algunos casos, a los obtenidos considerando a la misma en estado natural. Los tiempos de retardo disminuyen considerablemente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es evidente, de acuerdo a lo expuesto anteriormente, que la efectividad del tratamiento de corrección que se pudiera realizar en cualquier cuenca aluvional, irá decreciendo en la medida que en dicha cuenca se produzcan cambios, generalmente inducidos por acción antrópica, que afecten a sus características físicas más relevantes.

Para el caso de la Cuenca XV, en la cual parte de su superficie será ocupada por una urbanización, es conveniente que los lotes sean amplios para asegurar que no haya en todo el predio construcción impermeabilizante. Lo precitado debiera complementarse con la obligatoriedad de un porcentaje de parcela libre de pavimentación, canteros en las veredas, etc. Con ello se contribuirá a que, en mayor medida, la superficie impermeable sea indirectamente conectada, evitando así que la escorrentía se concentre en poco tiempo generando grandes caudales.

Es recomendable también, que en la nueva urbanización se realice un sistema de drenaje pluvial, que evacue rápidamente el agua caída en la misma. Esto contribuirá a realizar un mejor control de la escorrentía. La precipitación de diseño para ese tipo de obra es de TR: 2 años.

Esta problemática de las relocalizaciones originadas en la ocupación de sitios no aptos, de propiedad privada o pública, se ha convertido en un hecho recurrente y a escala internacional. Los nuevos sitios posibles para los asentamientos suelen forzar expansiones urbanas en áreas con restricciones naturales, constituyéndose en la realidad, en interfases generadoras de espacios periurbanos altamente conflictivos.

Estas cuestiones son parte del desarrollo en curso del Programa de Investigación "Sustentabilidad del Espacio Regional. Insumos para la Gestión Ambiental. El Caso del Alto Valle de Río Negro y Valle Inferior de los Ríos Limay y Neuquén" en el Centro Experimental de la Vivienda y el Equipamiento Urbano.

REFERENCIAS

- [1] Roby H.O. (1986) - "*Determinación de la Escorrentía a partir de la Precipitación sobre un Cuenca, Metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos*" - Traducción y adaptación - INCYTH, Centro Regional Andino - Mendoza.
- [2] Administración Provincial del Agua (1985) - "*Defensas y Desagües Aluvionales de la Ciudad de Neuquén - Etapa III*" - Informe Mensual N° 2 - Subsecretaría de Estado de Obras y Servicios Públicos - Provincia del Neuquén. Neuquén.
- [3] Rapacioli R., Marizza M. (1996) - "*Determinación de un Modelo de Precipitaciones Intensas para la Región del Alto Valle del Río Negro y de Curvas Caudal - Área - Frecuencia en Zona de Meseta al Norte de la Ciudad de Cipolletti*" - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.
- [4] Wanielista M., Kersten R., Eaglin R. (1997) - "*Hydrology: Water Quantity and Quality Control*" - Chapter 5 "*Watershed Characteristics and Infiltration*" - Chapter 6 "*Hydrographs*" - John Wiley & Sons, Inc. - New York.

BIBLIOGRAFIA

- Ciancaglini N.C. (1980) - "*Corrección de Torrentes Mediante Obras Civiles y Tratamiento de la Vegetación*" - INCYTH, Centro Regional Andino. Mendoza.
- Fernández P., Segerer C. D., Fernández J.M., De Segerer E.C., Delgado S.C., Buk E.M. (1980) - "*Estudio hidrológico de cuencas aluvionales en la Provincia del Neuquén y curvas generalizadas para el cálculo hidráulico de estructuras viales*" - INCYTH-CRA, Buenos Aires.
- García Nájera J.M (1943). - "*Principios de Hidráulica Torrencial y su aplicación a la corrección de torrentes*". Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid. 1943.
- Lassig J., Marizza M., Palese C., Cogliati M., Rapacioli R., Bastanski M. - "*Lluvias Intensas en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, y su Riesgo Hídrico*". Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue. 1994.
- López Cadenas de Llano F. (1988) - "*Corrección de Torrentes y Estabilización de Cauces*" - Colección FAO: Fomento de tierras y aguas, N° 9 - Roma.
- Rapacioli R.A. (1992) - "*Cambios en la Escorrentía Superficial de la Cuenca del Cañadón Cordón Colón Debidos a la Influencia de los Asentamiento Poblacionales en la Misma*" - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Comahue.
- Rapacioli R., Marizza M. (1996) - "*Metodología para Determinar Caudales en Pequeñas Cuencas Urbanas de Localidades de la Región del Alto Valle del Río Negro*" - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.
- Rapacioli R., Arroyo L., Engelland S. (1996) - "*Dinámica Hídrica y Degradación del Medio en el Sector de Bardas del Rincón de Emilio - Ciudad de Neuquén*" - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue.
- USDA - Soil Conservation Service (1986) - "*Urban Hydrology for Small Watersheds*" - Technical Release 55 - Washington.

PLATAFORMA DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS SOLARES

Aguilera, M; Hoyos, D; Cadena, C
Dep. de Física. INENCO-UNSa
Av Bolivia 5150 4400 Salta Argentina
Email: cadena@ciunsa.edu.ar

RESUMEN

Una "Plataforma de Simulación de Sistemas Solares" es como su nombre lo indica, un software que permite realizar simulaciones de sistemas solares tales como el cálculo de geometría y radiación solar o algunas técnicas para calcular la hora de salida y puesta del sol en una superficie determinada. Este software ha sido diseñado de tal forma que permite insertar dentro de la plataforma programas que realizan los cálculos antes mencionados, y conectándolos entre sí, llevar a cabo una simulación más compleja. También es posible crear nuevos programas que funcionen bajo las reglas establecidas por la plataforma, y de ese modo aumentar la funcionalidad de una simulación.

INTRODUCCION

Este software se desarrolló para un entorno Windows, con una interfaz gráfica y es un medio por el cual varios objetos se comunican entre sí para lograr simular un proceso más complejo. Los objetos son concretamente programas sencillos escritos en un lenguaje de programación, compilados y enlazados, es decir son programas ejecutables, que realizan una función particular y que a través de la comunicación entre ellos, se puede simular un proceso más sofisticado. Para poder comunicarse, los programas utilizan archivos de entrada y salida.

Muchos de los cálculos que se realizan en cualquier parte de un proceso de simulación, son luego utilizados en cálculos posteriores. Por ejemplo para calcular la declinación del sol hace falta conocer el día del año, luego para calcular la hora solar en un determinado momento de ese mismo día, es necesario conocer la declinación. Así la salida de un determinado proceso, muchas veces forma parte de los datos de entrada de uno posterior. Un programa diseñado para la plataforma debe leer de su archivo de entrada los datos necesarios para la ejecución de su función y escribir los resultados en un archivo de salida, los cuales serán usados como datos de entrada por otros programas. De esta forma, la plataforma es la encargada de comunicar los programas, hacer que éstos se ejecuten, saber cuántos hay, crear un objeto para un programa nuevo y también poder eliminarlo. Se han desarrollado pequeños programas para calcular algunos parámetros de radiación solar. Pero además pueden agregarse a la plataforma otros programas o aplicaciones que realicen más cálculos y conectarlos entre sí para llevar a cabo otro tipo de simulación. Con el desarrollo de la plataforma se logra una amplia reusabilidad, ya que se pueden agregar a una misma simulación, variedades de aplicaciones que trabajen bajo las mismas reglas, definidas previamente, en cuanto a la forma en que se deben leer y escribir los archivos de entrada y salida.

GENERALIDADES SOBRE RADIACION SOLAR

Uno de los objetivos del trabajo es el de resolver el problema de cálculo de radiación solar sobre una superficie determinada. Para esto, primero se deben hacer algunos cálculos de geometría solar:

Tiempo Solar: tiempo solar - tiempo estándar = $4(Lst - Lloc) + E$, (Lst: meridiano estándar para el tiempo local de la zona, Lloc: longitud de la localidad en cuestión, E: ecuación de tiempo)

Dirección del rayo radiante, puede describirse por varios ángulos:

ϕ Latitud: La localización angular norte o sur del ecuador (+ norte, - sur). $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$

δ Declinación: La posición del sol en el meridiano solar (cuando el sol está sobre el meridiano local) con respecto al plano del ecuador (+ norte). $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$.

β Inclinación: El ángulo entre el plano de la superficie en cuestión y la horizontal. $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$

γ Acimut: Desviación de la proyección sobre un plano horizontal de la normal a la superficie desde el meridiano local con 0° exactamente al sur, negativo al este y positivo al oeste. $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.

ω Angulo de la hora: El desplazamiento angular del sol este u oeste del meridiano local, exactamente la rotación de la tierra sobre su eje en 15° por hora, negativo a la mañana y positivo a la noche.

θ Angulo de incidencia: El ángulo entre la radiación del rayo solar sobre la superficie y la normal de esta superficie.

θ_z Angulo cenit: El ángulo entre la vertical y la línea del sol, es el ángulo de incidencia de radiación del rayo sobre una superficie horizontal.

α_s Angulo de altitud solar, es el complemento del ángulo cenit.

γ_s Angulo acimut solar, es el desplazamiento angular desde el sur de la proyección de la radiación del rayo sobre el plano horizontal, es positivo al oeste.

La declinación se puede obtener de la ecuación de Cooper: $\delta = 23.45 \text{ sen}(360(284+n/365))$

Se puede calcular la hora de puesta del sol para superficies horizontales, donde la inclinación sea de 0 ; $\cos\omega = -\sin\phi \sin\delta / \cos\phi \cos\delta = -\tan\phi \tan\delta$; y el número de horas luz está dado por $N = 2/15 \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta)$.

Para el cálculo de la radiación extraterrestre sobre superficies horizontales existen distintas metodologías en las cuales es conveniente usar niveles de radiación normalizados, esto es, la relación del nivel de radiación y radiación posible teórica, que debería ser aprovechable si no hubiese atmósfera. Para estos cálculos se necesita un método de cálculo de radiación extraterrestre.

En cualquier instante de tiempo, la incidencia de radiación solar sobre un plano horizontal fuera de la atmósfera se calcula como:

$G_o = G_{sc}(1 + 0.033 \cos(360 \cdot n/365)) \cos\theta_z$ Donde G_{sc} es la constante solar, y n el día del año.

A la ecuación anterior se le puede reemplazar el valor de $\cos\theta_z$, que puede ser calculado fácilmente..

$G_o = G_{sc}(1 + 0.033 \cos(360 \cdot n/365)) (\cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta)$.

G_o responde a un valor de radiación correspondiente a un instante de tiempo. A veces es necesario conocer la radiación total diaria llamada H_o . Esto se logra integrando la ecuación anterior sobre el período desde la salida hasta la puesta del sol. G_o es una medida en watts por m^2 y H_o es una medida en joules por m^2 .

$H_o = (24 \cdot 3600 G_{sc} / \pi) (1 + 0.033 \cos(360 \cdot n/365)) (\cos\phi \cos\delta \cos\omega_s + (\pi \cdot \omega_s / 180) \sin\phi \sin\delta)$. Donde ω_s es el ángulo de la puesta del sol.

También resulta útil calcular la radiación extraterrestre sobre una superficie horizontal para un período de tiempo. Integrando la ecuación para G_o , para un período de hora entre los ángulos horarios ω_1 y ω_2 (ω_2 es el más grande) tenemos:

$I_o = (12 \cdot 3600 G_{sc} / \pi) (1 + 0.033 \cos(360 \cdot n/365)) (\cos\phi \cos\delta (\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + (\pi \cdot (\omega_2 - \omega_1) / 180) \sin\phi \sin\delta)$.

Todos los métodos de cálculo vistos hasta aquí han sido considerados para el desarrollo de pequeños programas que funcionen dentro de la plataforma. Ninguno de estos programas cuenta con algún tipo de interfaz, pues todos ellos trabajan con archivos de donde leen y escriben los datos necesarios para su funcionamiento.

CARACTERISTICAS DE VISUAL BASIC

Visual Basic es una herramienta de programación para el entorno Windows, no se parece GwBasic o QuickBasic que se utiliza sobre DOS, aunque sigue siendo BASIC, aunque más evolucionado ya que incorpora múltiples tipos de datos, posibilidad de crear funciones y procedimientos, estructuras de control típicas de Pascal o C, orientación a objetos, etc. Desde el mismo se tiene alcance a la mayoría de las posibilidades de Windows: crear aplicaciones MDI con soporte OLE, multimedia, acceso a Base de Datos, etc. Si los objetos facilitados por Visual Basic y el propio lenguaje no cubren una determinada área, siempre se puede tener acceso a la API de Windows, de forma muy sencilla. Permite además de lo anterior, desarrollar aplicaciones de 32 bits generando verdadero código nativo, lo que otorga una mayor velocidad de ejecución. Las aplicaciones creadas en Visual Basic se pueden ejecutar tanto en Windows NT como en Windows 95. También proporciona de manera simple la creación de componentes ActiveX, abriendo la posibilidad al desarrollo de objetos que no sólo puedan ser usados por nuestras aplicaciones sino también por cualquier otra herramienta que soporte este tipo de componentes, incluso en páginas Web.

CONCEPTOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE LA PLATAFORMA

Un objeto es una abstracción de la realidad, y tiene características propias que lo identifican, por otra parte, una clase es un conjunto de objetos homogéneos, es decir tienen características y comportamiento similares. Una caja negra es un objeto que recibe datos, opera sobre ellos y da como resultado una salida. Desde afuera no puede conocerse cómo la caja calcula los resultados, sólo se conocen los datos o tipos de datos de entrada, la función y el resultado que la caja proporciona.

Se puede insertar en la plataforma programas o aplicaciones sencillas que por lo general realizan una sola tarea, calculan el ángulo de declinación, calculan un punto de coordenadas, realizan una operación de suma de varias variables, etc. Estas aplicaciones pueden ser pensadas como objetos de una clase, la cual tiene datos y operaciones sobre esos datos. También se puede pensar en ellas como cajas negras que reciben datos desde un archivo de entrada, hacen cálculos y escriben resultados en un archivo de salida. Desde la plataforma no se conoce la forma en que una aplicación en particular calcula los datos, ya que esta aplicación pudo haber sido programada por cualquier otra persona en un lenguaje en particular, sólo se puede saber qué función cumple dicha aplicación.

Una aplicación es un objeto, o más bien una clase de objetos, ya que habrá muchas aplicaciones en la plataforma, cada una con sus datos de entrada y de salida, y todas ellas se comportan de manera similar. Por lo tanto se diseñaron las clases de objetos para las aplicaciones, las uniones, las líneas que conectan dichos objetos y una clase para la plataforma, quién tendrá la función de coordinar todas las actividades que se lleven a cabo dentro de la plataforma.

ELEMENTOS DE LA PLATAFORMA

Una plataforma trabaja con archivos ejecutables que han sido creados especialmente para ella, éstos archivos ejecutables deben ser creados siempre con herramientas de programación de 32 bits para Windows 95. En adelante todos los programas creados para la plataforma se denominarán aplicaciones. Una aplicación en particular lee los datos de su archivo de entrada, realiza operaciones con esos datos y escribe los resultados en un archivo de salida. Si alguien desea escribir código para la

plataforma, debe preguntarse cómo saber cuáles son los nombres de los archivos de entrada y de salida. Los nombres de archivos pueden ser proporcionado por la plataforma de dos maneras distintas. Una manera es a través de un archivo llamado "archivo de comunicaciones" cuyo nombre tiene la forma: \nom_arch", allí en la primera línea de texto se encuentra el nombre del archivo de entrada, y allí debe escribirse luego el nombre del archivo de salida, para que la plataforma luego lo lea. El archivo de comunicaciones es un archivo de texto y puede ser reemplazado por cualquier otro archivo si se desea. Otra manera de conocer los nombres de archivos es solicitando que la plataforma coloque dichos nombre en la línea de comandos con que llama a ejecución a la aplicación, por otra parte, los nombres de archivos estarán separados por un espacio en blanco.

Los nombres de los archivos de entrada y salida y el modo en que éstos se obtendrán son propiedades de la aplicación. También debe proporcionarse el nombre del archivo ejecutable y además el nombre de un archivo llamado "archivo explicatorio", cuya función es explicar en un archivo de texto, qué hace la aplicación, qué tipos de datos espera y en qué orden, qué datos arroja la aplicación y en que formato están. Todas estas propiedades deben especificarse en la ventana de propiedades de una aplicación. Otro de los elementos que forman parte de la plataforma son las uniones. Estas tienen la función de unir los datos de varios archivos de entrada en un solo archivo de salida, el cual será transmitido a una aplicación, pues las aplicaciones sólo pueden recibir un archivo de entrada. También pueden agregarse archivos de textos externos, no producidos por alguna aplicación, a una unión. Los nombres de los archivos de entrada y salida son propiedades de una unión, y éstos pueden ser especificados en la ventana de propiedades de la unión. Como las aplicaciones trabajan con archivos de texto para transmitirse datos, a menudo es necesario editar tales archivos, ya sea para simplemente mirar los datos o para modificarlos antes de que se los transmita a alguna aplicación. Por estas razones es que se incluyó un pequeño editor de texto. Este editor es bastante sencillo, permitiendo realizar las operaciones básicas como grabar, editar y crear archivos. Los archivos que se editen, deben ser relativamente pequeños, pues este editor fue diseñado para la plataforma y en ella nunca se trabajará con archivos de textos muy grandes.

LA PLATAFORMA

El aspecto típico de una plataforma se muestra en la figura 1. Para ésta en particular, existen tres aplicaciones calc_n (Calcula

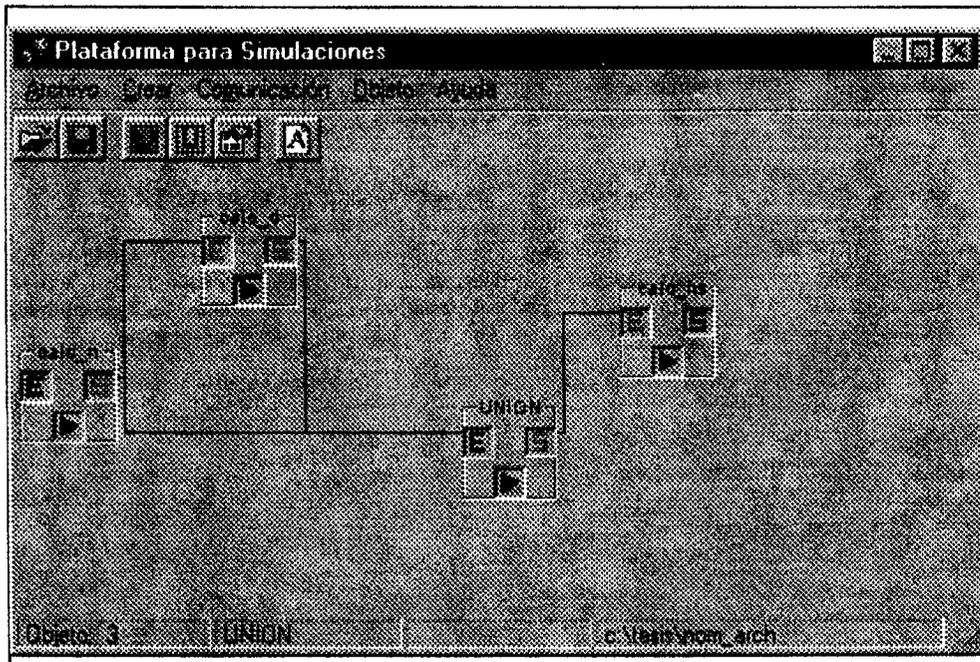


Fig 1: aspecto de la plataforma

el número de día, se muestra en la figura 2), calc_d (Calcula la declinación) y calc_hs (Calcula la hora solar). calc_n transmite sus datos a una unión y a calc_d, éste transmite sus datos a la unión. La unión recibe todos los datos y además agrega datos externos, los une en un archivo de salida y se los transmite a calc_hs, quién calcula el resultado final.

CONCLUSIONES

Se ha diseñado e implementado una plataforma, de modo tal que la misma contenga un alto grado de reusabilidad. Si bien está preparada para llevar a cabo simulaciones de procesos solares, se la pensó de manera genérica, de forma que fuera posible insertar aplicaciones de cualquier tipo. Es decir que cualquier archivo ejecutable de 32 bits puede ser cargado en la plataforma. Cabe acotar que siempre que se definan los procedimientos de trabajo dentro de la plataforma, como ser el formato de los archivos de entrada y salida, se la puede utilizar para simular un proceso de cualquier tipo.

Todos los programas de procesos solares creados en este trabajo para la plataforma, funcionan con archivos de texto simples, colocando en cada línea de texto un dato diferente. Para saber qué dato se está esperando, sólo se consideró el orden del mismo. Por ejemplo una aplicación espera dos datos A y B y en ese orden, se supone entonces que en la primera línea del archivo de entrada se encuentra el dato A y en la segunda línea el B. Este esquema de trabajo es el más sencillo, pero se pueden utilizar otros esquemas, todo depende de cómo se decida establecer la forma en que trabajarán las aplicaciones dentro de la plataforma.

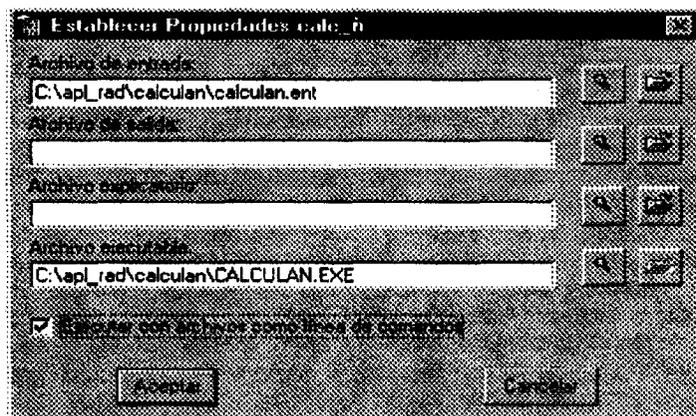


Fig. 2: pantalla de propiedades

El hecho de poder grabar una plataforma, hace que en definitiva lo que se pueda grabar, sea una simulación con datos particulares. Utilizando el editor de textos de la plataforma se puede modificar estos datos particulares y volver a calcular resultados con nuevos datos. Esta posibilidad aumenta en sumo grado la reusabilidad. Además las aplicaciones escritas para una simulación pueden ser utilizadas en otras simulaciones, todo depende de cómo se definan los protocolos de comunicación.

Otro de los aspectos importantes del trabajo, es el diseño de la interfaz con el usuario, que le permite ver los objetos que va creando y comunicarlos entre sí, además de hacer que éstos colaboren para lograr simular un proceso complicado. Este tipo de interfaz difiere notablemente de las habituales de un entorno gráfico y permite pensar las cosas de forma diferente. El hecho de hacer que un grupo de personas programen partes distintas de una simulación, y luego puedan unirlos en la plataforma, es la idea central del trabajo. Esto permite mayor rapidez de desarrollo en equipo y aumenta la reusabilidad, si se considera que los programas son entidades independientes y pueden ser utilizadas en distintas simulaciones.

REFERENCIAS

- Ojeda, F., 1997, Programación con VB 5.0
- Cornell, G., 1994, Manual VB 3 para Windows.
- Appelman, D., 1995, API WIN 32.
- Duffie, J., Beckman, W., 1991, Solar Engineering

DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA RADIACIÓN APLICADA A COLECTORES PLANOS UBICADOS EN LA CIUDAD DE VILLA MERCEDES (SAN LUIS)

R. MONASTEROLO*, S. RIBOTTA*, A. FASULO*

*Universidad Nacional de San Luis - Facultad de Ingeniería y Ciencias Económico Sociales
 Avenida 25 de Mayo 384 (5730) V. Mercedes - San Luis - Tel. (0657) 30954/30980 - Fax (0657) 33790
 E-mail monaster@fices.unsl.edu.ar

Universidad Nacional de San Luis - Facultad de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales
 Chacabuco y Pedernera (5700) San Luis - E-mail solar@unsl.edu.ar

RESUMEN

En un trabajo previo construimos una base de datos que cubre dos décadas de valores medios mensuales de radiación solar horizontal \bar{H} y radiación solar difusa \bar{H}_d , para V. Mercedes empleando datos de radiación registrados en la zona durante dos años por la Red Solarimétrica Nacional⁽¹⁾ y datos de heliofanía relativa durante veinte años provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.).

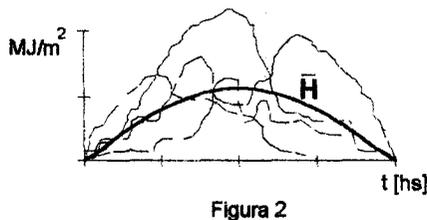
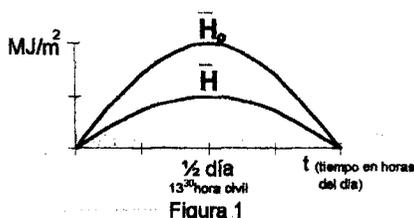
Ahora, a partir de estos datos generamos: la radiación horizontal horaria \bar{I} y la radiación horizontal difusa horaria \bar{I}_d , ambas expresadas en valores medios mensuales.

Luego, obtuvimos la radiación directa horizontal \bar{I}_d a partir de las dos anteriormente deducidas, y calculando el ángulo zenital horario θ_z determinamos la radiación solar directa normal \bar{I}_n .

Con estos datos estimamos la radiación que recibiría un colector plano con seguidor solar, un colector plano fijo inclinado 45° al Norte y un colector plano inclinado 45° al Norte con seguidor solar.

FUNDAMENTOS DEL MÉTODO APLICADO

Para este fin vamos a postular que la distribución horaria de la radiación solar global en valores medios mensuales \bar{H} tiene una figura semejante a la distribución horaria, en valores medios mensuales de la radiación solar horizontal sin atmósfera \bar{H}_0 , tal como se muestra en la figura 1 para un mes cualquiera del año.



Esta es una suposición razonable para una localidad como Villa Mercedes, sin serranías en sus proximidades, lo que implica suponer que la presencia y permanencia de nubes en el cielo es totalmente independiente de la hora del día. De manera que la figura de \bar{H} resultante de la superposición de n días del mes (600 para dos décadas) es regular como el resultado del efecto compensador de la presencia azarosa en el tiempo de las nubes, figura 2.

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

A partir de los datos de radiación solar global \bar{H} tomada en plano horizontal y de heliofanía \bar{n} obtenidos en Villa Mercedes, a través de la estación INTA, se genera una base de datos con los cuales se obtienen los coeficientes de la ecuación de Angstrom-Page⁽²⁾:

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \cdot \frac{\bar{n}}{N} \quad (1)$$

en donde resultó:

$$a = 0,2089 \text{ y } b = 0,5388$$

Una vez determinados los coeficientes a y b y con los datos de heliofania relativa durante veinte años provistos por el S.M.N., se obtuvo una base de datos de radiación global \bar{H} .

Luego, utilizando la base de datos anterior y mediante la correlación de Iqbal⁽³⁾ se determinó la radiación difusa \bar{H}_d para el mismo período:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 0,958 - 0,982 \cdot \bar{K}_t \quad (2)$$

Luego a partir de estos datos, vamos a obtener la radiación horizontal horaria \bar{I} particionando la radiación solar global (valores medios mensuales) en horas. Se empleará la formulación de M. Collares-Pereira y A. Rabl⁽⁴⁾

$$rh = \frac{\bar{I}}{\bar{H}} = \frac{\pi}{T} (a + b \cos \omega) \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \quad (3)$$

cuyos coeficientes a y b valen:

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(\omega_s - 1,047) \quad (4)$$

$$b = 0,6609 + 0,4767 \sin(\omega_s - 1,047) \quad (5)$$

Los valores correspondientes obtenidos para la radiación global horaria \bar{I} se muestran en la Tabla Nro. 1

		\bar{I} - radiación solar horizontal total horaria [MJoule/m ²]												
		ω_s (ángulo horario)												
		-90°	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Meses	1	0,46	1,04	1,67	2,28	2,79	3,14	3,26	3,14	2,79	2,28	1,67	1,04	0,46
	2	0,28	0,84	1,47	2,09	2,62	2,98	3,10	2,98	2,62	2,09	1,47	0,84	0,28
	3	0,04	0,53	1,11	1,69	2,20	2,54	2,66	2,54	2,20	1,69	1,11	0,53	0,04
	4		0,25	0,77	1,32	1,81	2,14	2,26	2,14	1,81	1,32	0,77	0,25	
	5		0,05	0,47	0,94	1,36	1,65	1,76	1,65	1,36	0,94	0,47	0,05	
	6			0,36	0,80	1,21	1,50	1,60	1,50	1,21	0,80	0,36		
	7			0,00	0,41	0,86	1,27	1,56	1,66	1,56	1,27	0,86	0,41	0,00
	8			0,16	0,64	1,16	1,62	1,93	2,05	1,93	1,62	1,16	0,64	0,16
	9			0,42	0,98	1,55	2,05	2,39	2,51	2,39	2,05	1,55	0,98	0,42
	10	0,19	0,70	1,29	1,87	2,37	2,71	2,83	2,71	2,37	1,87	1,29	0,70	0,19
	11	0,40	0,94	1,54	2,13	2,62	2,95	3,07	2,95	2,62	2,13	1,54	0,94	0,40
	12	0,50	1,06	1,66	2,25	2,74	3,07	3,18	3,07	2,74	2,25	1,66	1,06	0,50

TABLA Nro. 1

Procedemos a hallar la radiación difusa horaria \bar{I}_d , a partir de la siguiente expresión

$$rd = \frac{\bar{I}_d}{\bar{H}_d} = \frac{\pi}{T} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \quad (6)$$

De manera similar al paso anterior, encontramos los valores correspondientes para la radiación difusa horaria \bar{I}_d , los cuales se muestran en la Tabla Nro. 2

		\bar{I}_d - radiación solar horizontal difusa horaria [MJoule/m ²]												
		ω_s (ángulo horario)												
		-90°	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Meses	1	0,24	0,49	0,71	0,91	1,06	1,16	1,19	1,16	1,06	0,91	0,71	0,49	0,24
	2	0,15	0,41	0,64	0,84	1,00	1,10	1,13	1,10	1,00	0,84	0,64	0,41	0,15
	3	0,03	0,29	0,53	0,74	0,89	0,99	1,03	0,99	0,89	0,74	0,53	0,29	0,03
	4		0,14	0,38	0,58	0,73	0,83	0,86	0,83	0,73	0,58	0,38	0,14	
	5		0,03	0,25	0,44	0,59	0,68	0,72	0,68	0,59	0,44	0,25	0,03	
	6			0,19	0,37	0,51	0,60	0,63	0,60	0,51	0,37	0,19		
	7		0,00	0,21	0,40	0,54	0,63	0,66	0,63	0,54	0,40	0,21	0,00	
	8		0,09	0,32	0,51	0,66	0,75	0,78	0,75	0,66	0,51	0,32	0,09	
	9		0,23	0,46	0,66	0,82	0,92	0,95	0,92	0,82	0,66	0,46	0,23	
	10	0,11	0,36	0,60	0,80	0,96	1,05	1,09	1,05	0,96	0,80	0,60	0,36	0,11
	11	0,22	0,46	0,69	0,89	1,04	1,14	1,17	1,14	1,04	0,89	0,69	0,46	0,22
	12	0,27	0,51	0,74	0,93	1,08	1,17	1,21	1,17	1,08	0,93	0,74	0,51	0,27

TABLA Nro. 2

La radiación global horizontal diaria \bar{H} , es el resultado de sumar la proyección horizontal \bar{H}_b de la radiación normal directa \bar{H}_n mas la radiación difusa \bar{H}_d . Esto es:

$$\bar{H} = \bar{H}_b + \bar{H}_d \quad (7)$$

Lo mismo vale para la radiación global horizontal horaria. La proyección horizontal de la radiación solar horaria \bar{I}_b se determina a partir de la ecuación

$$\bar{I} = \bar{I}_b + \bar{I}_d \quad (8)$$

por lo tanto:

$$\bar{I}_b = \bar{I} - \bar{I}_d \quad (9)$$

pero tenemos que:

$$\bar{I}_b = \bar{I}_n \cos\theta_z \quad (10)$$

En base a los valores mostrados de la radiación global horizontal horaria \bar{I} (Tabla 1) y de la radiación difusa horaria \bar{I}_d (Tabla 2), podemos obtener \bar{I}_b .

Por último, una vez determinado \bar{I}_b podemos hallar la proyección sobre un plano horizontal de la radiación directa horaria \bar{I}_n , a través de la siguiente ecuación

$$\bar{I}_n = \frac{\bar{I}_b}{\cos\theta_z} \quad (11)$$

Entonces, primero determinamos $\cos\theta_z$ para el día característico de cada mes del año, y operando con las Tablas 1 y 2 obtenemos la siguiente tabla con los valores correspondientes a \bar{I}_n .

		\bar{I}_n - radiación solar directa normal horaria [MJoule/m ²]													
		w_s (ángulo horario)													
		-90°	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
Meses	1	1,12	1,38	1,62	1,83	1,99	2,09	2,12	2,09	1,99	1,83	1,62	1,38	1,12	
	2	1,00	1,29	1,55	1,78	1,96	2,07	2,10	2,07	1,96	1,78	1,55	1,29	1,00	
	3	0,70	1,03	1,32	1,57	1,76	1,87	1,91	1,87	1,76	1,57	1,32	1,03	0,70	
	4		0,91	1,24	1,52	1,74	1,87	1,92	1,87	1,74	1,52	1,24	0,91		
	5		0,65	1,01	1,30	1,52	1,66	1,71	1,66	1,52	1,30	1,01	0,65		
	6			1,01	1,32	1,56	1,71	1,76	1,71	1,56	1,32	1,01			
	7			1,22	1,03	1,33	1,56	1,70	1,75	1,70	1,56	1,33	1,03	1,22	
	8			0,85	1,18	1,46	1,68	1,81	1,86	1,81	1,68	1,46	1,18	0,85	
	9			1,01	1,31	1,57	1,76	1,89	1,93	1,89	1,76	1,57	1,31	1,01	
	10	0,84	1,11	1,37	1,59	1,76	1,87	1,91	1,87	1,76	1,59	1,37	1,11	0,84	
	11	1,00	1,25	1,48	1,68	1,84	1,93	1,97	1,93	1,84	1,68	1,48	1,25	1,00	
	12	1,07	1,32	1,54	1,73	1,88	1,98	2,01	1,98	1,88	1,73	1,54	1,32	1,07	

TABLA Nro. 3

APLICACIÓN

A continuación, se determinan los valores de radiación solar media mensual horaria que recibirá un colector plano ubicado en la ciudad de Villa Mercedes (33°43'S). Se analizan tres situaciones diferentes:

- Con seguidor solar.
- Inclinado 45° Norte fijo.
- Inclinado 45° Norte con seguidor solar.

Los valores de radiación que recibirá el colector serán la suma de la componente horizontal de la radiación normal directa \bar{I}_b mas la radiación difusa \bar{I}_d . Consideraremos para los casos de colector inclinado a 45° que la radiación difusa que no recibe el colector, debido a que por su inclinación no puede ver una porción de la esfera celeste, esta disminución se verá compensada por la radiación reflejada emitida por una fracción de la superficie de la tierra, la que ve el colector.

Los valores de radiación determinados para estos colectores se muestran en la Figura 3.

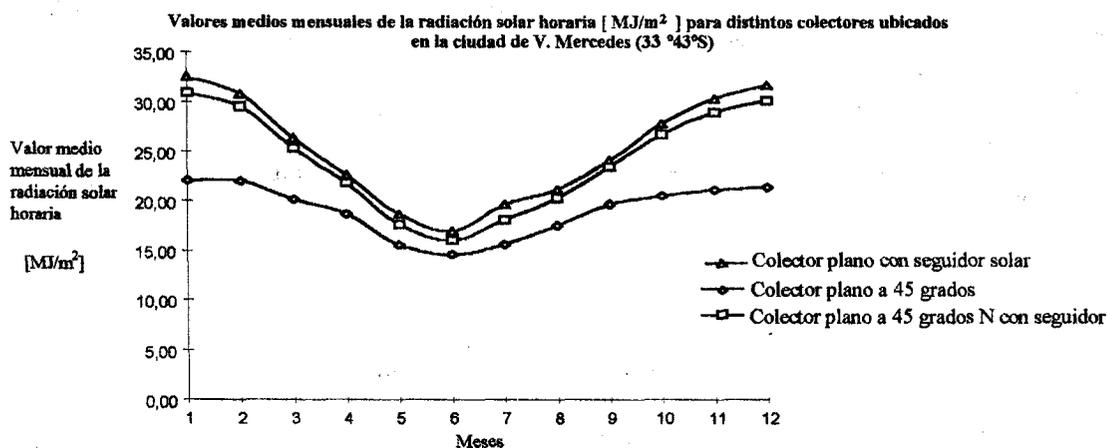


FIGURA 3

CONCLUSIONES

Se dispone de una base de datos generada con datos de dos décadas de la radiación solar en valores medios mensuales para la ciudad de Villa Mercedes de radiación horaria \bar{I}_h , \bar{I}_a e \bar{I}_n que nos permiten predecir resultados y así llevar a cabo el desarrollo o implementación de nuevas experiencias referentes a energía solar.

NOMENCLATURA

\bar{H} : Promedio de radiación diaria mensual [MJ/m²Día]

\bar{H}_0 : Promedio de radiación extraterrestre diaria mensual [MJ/m²Día]

\bar{H}_d : Promedio de radiación difusa diaria mensual [MJ/m²Día]

\bar{K}_t : Índice de claridad promedio ($= \bar{H} / \bar{H}_0$) [adimensional]

\bar{I} : Radiación solar horaria media mensual [MJ/m²]

I_b : Componente horizontal de la radiación directa normal media mensual [MJ/m²]

\bar{I}_a : Radiación solar difusa horaria media mensual [MJ/m²]

\bar{I}_n : Radiación solar directa normal horaria media mensual [MJ/m²]

ω_s : Ángulo horario de puesta del sol

θ_z : Ángulo zenital

ψ : Ángulo azimutal

\bar{n} : Valor promedio diario mensual de horas de sol en [hs]

\bar{N} : Horas máximas de sol, correspondiente al día característico en [hs]

BIBLIOGRAFÍA

- (1) **RED SOLARIMETRICA NACIONAL** - Cuadernos números 4 al 9 (1980-1982) - Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales - Cento Espacial San Miguel - Argentina.
- (2) **M. IQBAL**, An introduction to Solar Radiation - Academic Press
- (3) **M. IQBAL** - A study of Canadian diffuse and total radiation data - Monthly average daily horizontal radiation - SOLAR ENERGY - Vol. 22 pag 81-86 - TECHNICAL NOTE (1979)
- (4) **M. COLLARES PEREYRA and A. RABL** - The average distribution of solar radiation - Correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values - SOLAR ENERGY - Vol. 20 pag 101-105 (1979)

ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL ULTRAVIOLETA EN SAN LUIS

María Torres Deluigi, Edgar Crinó, Julio Sirur Flores y Amílcar Fasulo
Laboratorio de Energía Solar, U.N.S.L.
Chacabuco y Pedernera. San Luis. 5700. E-Mail: charo@unsl.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se analizan los valores de la radiación UV diaria y de la irradiancia UV al mediodía solar en días claros comprendida entre 295 nm y 385 nm, que incidieron sobre San Luis (33.27° S, 66.35°W y 730 m s n m) en el período 30 de junio de 1993 al 30 de julio de 1996. Se establecen también los valores máximos, mínimos y medios de Huv como así también, los periodos de ocurrencia de los valores extremos.

Para el año 1995 se presentan los promedios mensuales de la radiación global total diaria (290 nm-3000 nm) y de la cantidad de ozono total. Con datos de ese año se obtiene una relación lineal múltiple que vincula los promedios mensuales de la radiación UV diaria con los correspondientes valores de la radiación total extraterrestre, la global en superficie, el coseno del ángulo cenital al mediodía y la media mensual de la cantidad de ozono total.

INTRODUCCION

El estudio de la radiación solar ultravioleta (UV) que llega a la superficie de la tierra es motivo de un creciente estudio en los últimos años como consecuencia del conocido deterioro que viene sufriendo la capa de ozono estratosférico en las dos últimas décadas (Herman *et al.*, 1991; Herman *et al.*, 1992; Bojkov y Fioletov, 1995). En efecto, a pesar de que constituye sólo el 8% de la radiación solar total extraterrestre (1367 W m^{-2}) y, aproximadamente el 5% de la radiación global total sobre la superficie terrestre (Iqbal, 1983), ella afecta directamente la vida de nuestro planeta como consecuencia de la importancia de sus efectos sobre los seres vivos (Herman *et al.*, 1996).

Se acostumbra clasificar a la radiación solar ultravioleta en tres bandas de longitudes de onda. El UV-A comprende longitudes de onda entre 320 nm y 400 nm, el UV-B corresponde al intervalo entre 290 nm y 320 nm, y el UV-C que comprende las longitudes de onda entre 200 nm y 290 nm.

Como consecuencia del ciclo de "ozonogénesis-ozonólisis" (Orce, 1990), prácticamente todo el UV-C y gran parte del UV-B son absorbidos en la atmósfera media y alta y por tanto no llegan a la tierra. Sin embargo, y a los efectos de valorar el impacto de la reducción del ozono estratosférico, se hace necesario evaluar con precisión la cantidad de radiación UV que alcanza la superficie terrestre.

INSTRUMENTAL

Los valores de UV fueron obtenidos con un radiómetro ultravioleta (estrictamente un fotómetro) Eppley consistente esencialmente de una fotocelda de selenio ubicada bajo una ventana de cuarzo, un filtro pasa banda de rango 295-385 nm y un disco difusor de cuarzo opaco. Este instrumento se instaló horizontalmente en la terraza de un edificio de 20 m de altura en el invierno de 1993. Simultáneamente, la radiación solar global diaria se obtenía con un piranómetro Eppley modelo PSP (Precisión Spectral Pyranómetro) colocado en las proximidades del radiómetro de UV. Ambos instrumentos se encontraban conectados a sendos registradores de trazo continuo que graficaban las curvas de radiación UV y global, las que posteriormente se integraban.

La cantidad de ozono total (en unidades Dobson), se obtuvo a partir de las correspondientes medidas realizadas por los espectroradiómetros TOMS/METEOR-3/NASA, TOVS/NOAA-14/NOAA y TOMS/EARTH PROBE/NASA entre el año 1993 a noviembre 1994, diciembre de 1994 a julio 1996 y desde julio de 1996 hasta el presente respectivamente.

RESULTADOS

Los datos de cantidad de radiación UV global diaria, registrados durante 3 años (julio 1993-julio 1996), se muestran en la Figura 1. Estos valores se obtuvieron tomando en cuenta el valor de la constante de calibración original suministrada por el fabricante y una subsiguiente recalibración por año las que, resultaron necesarias debido a la disminución de la sensibilidad del instrumento a lo largo del período de medición. Dichas recalibraciones se efectuaron contrastando el instrumento con un radiómetro ultravioleta Kahl, el cual había sido previamente calibrado con un radiómetro patrón. El mejor ajuste de estos datos se logró con una curva gaussiana para cada año de medida.

En la gráfica de la Figura 1 se observa que la radiación UV global diaria máxima promedio para los tres años considerados es de 1256 KJ m^{-2} y se produce en el mes de enero de cada año mientras que los valores mínimos promedian 85 KJ m^{-2} y

ocurren durante la segunda quincena de junio y el mes de julio. La media anual diaria es de $623 \pm 20 \text{ KJ m}^{-2}$ y la cantidad total de radiación UV incidente sobre San Luis durante un año es en promedio $225 \pm 3 \text{ MJ m}^{-2}$.

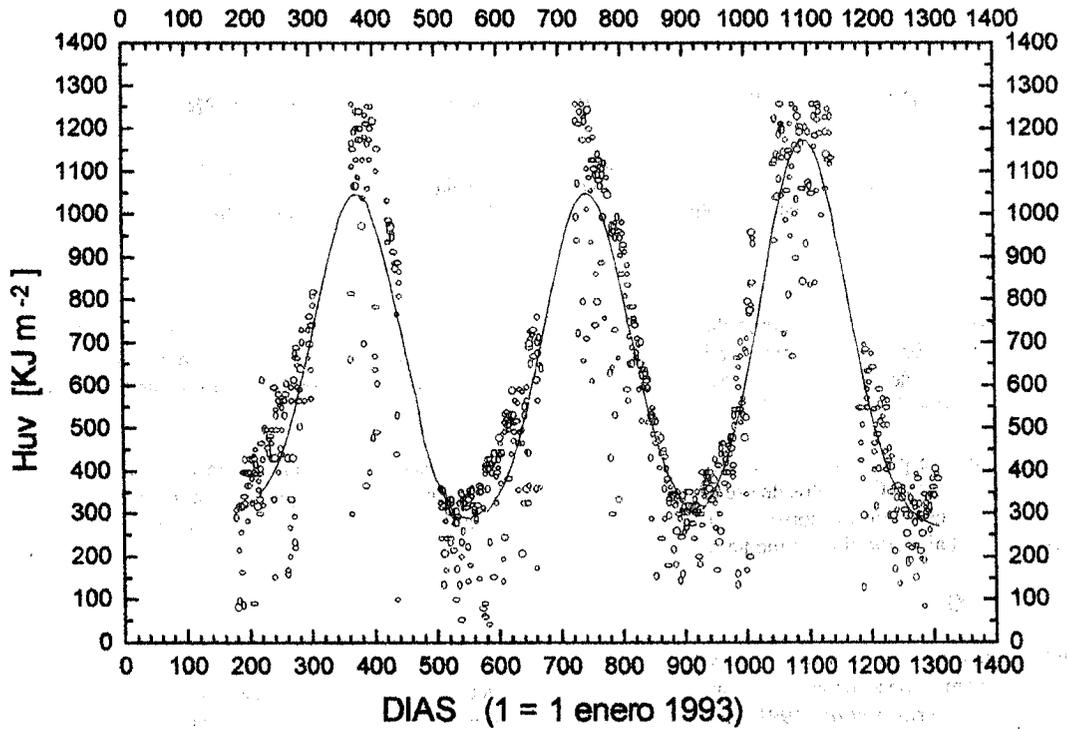


Figura 1: Radiación UV total diaria en San Luis para el periodo comprendido entre el 1° julio de 1993 y el 1° julio de 1996.

En la Figura 2 se muestran los valores de la irradiación global al mediodía determinados en días claros. Se observa que la irradiancia varía desde un mínimo promedio de 15 Wm^{-2} a un máximo promedio de 45 Wm^{-2} . Los mínimos ocurren durante el mes de julio mientras que los máximos se han registrado en la segunda quincena de enero. Estos valores son similares a los registrados en Rosario (32.96°S ; 60.62°W ; 20 m s n m) en un período parcialmente coincidente (Piacentini *et al.*, 1997).

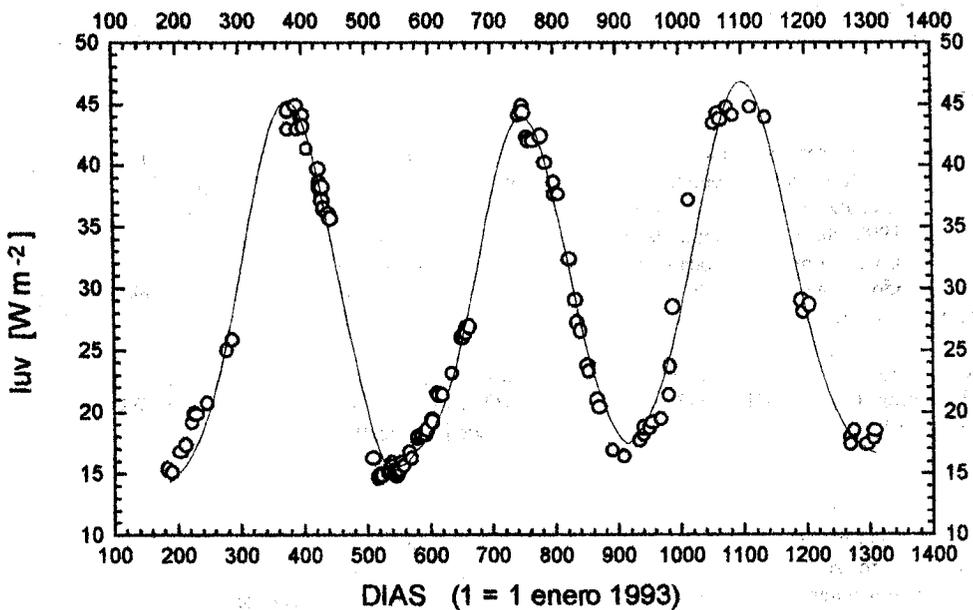


Figura 2: Valores de irradiación UV global al medio día para días claros, en el periodo enero 1994-febrero 1996.

Los valores medios mensuales de la cantidad de radiación UV diaria y los promedios mensuales de ozono atmosférico total sobre San Luis durante el año 1995 se han representado en la Figura 3. En la misma se observa que, Huv varía entre 290 KJ m^{-2} en junio hasta 1100 KJ m^{-2} registrado en noviembre y diciembre. Los valores de ozono total prácticamente se mantienen constantes en los cinco primeros meses del año pero crecen claramente entre junio y diciembre con un máximo en el mes de

octubre, en coincidencia con el mes de máxima intensidad y extensión del "agujero" de ozono antártico. Un comportamiento similar se manifiesta en los valores medios mensuales de ozono en años anteriores y posteriores a 1995.

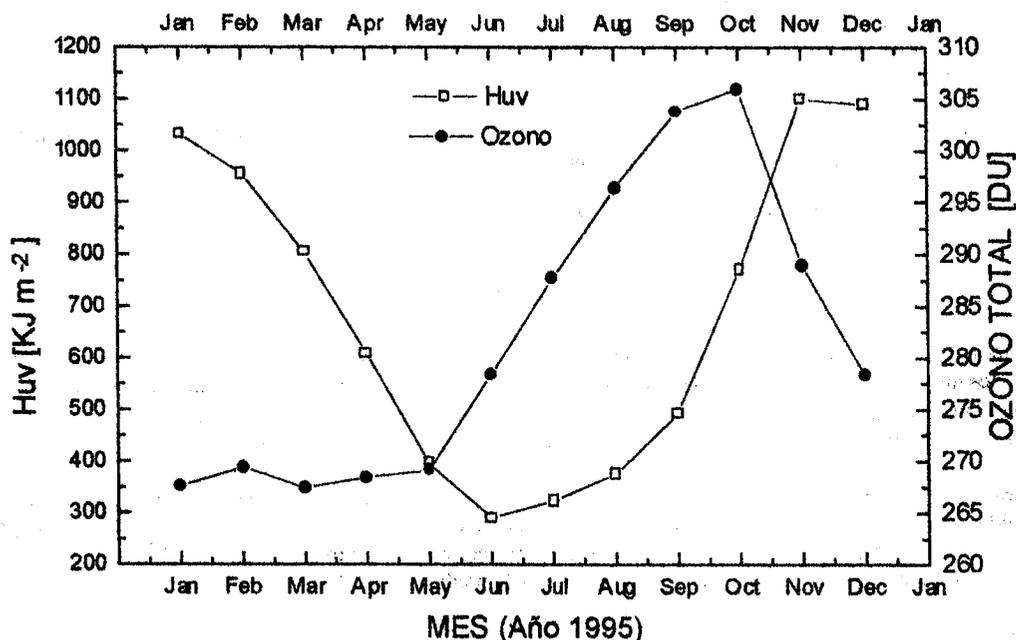


Figura 3: Promedios mensuales de los valores diarios de Huv y de la cantidad de ozono atmosférico sobre San Luis para el año 1995.

En la figura anterior es posible observar que las variaciones mensuales de Huv en la primera mitad del año difieren de las correspondientes a la segunda mitad. Mientras que no se observa un comportamiento similar en los valores medios mensuales de la radiación global total representados en la Figura 4. Razón por la cual, atribuimos la menor tasa de crecimiento de Huv en el período julio-septiembre al aumento de los valores medios mensuales de ozono que se producen en este período.

Las medias mensuales de los valores diarios de las radiaciones global ultravioleta, Huv, global total, Hg, extraterrestre total, Ho, todas ellas sobre superficie horizontal, y el coseno del ángulo cenital solar al mediodía, $\cos(z)$, se han representado para los meses del año 1995 en la Figura 4. A diferencia de lo que ocurre con Hg, Huv no parece depender demasiado del $\cos(z)$.

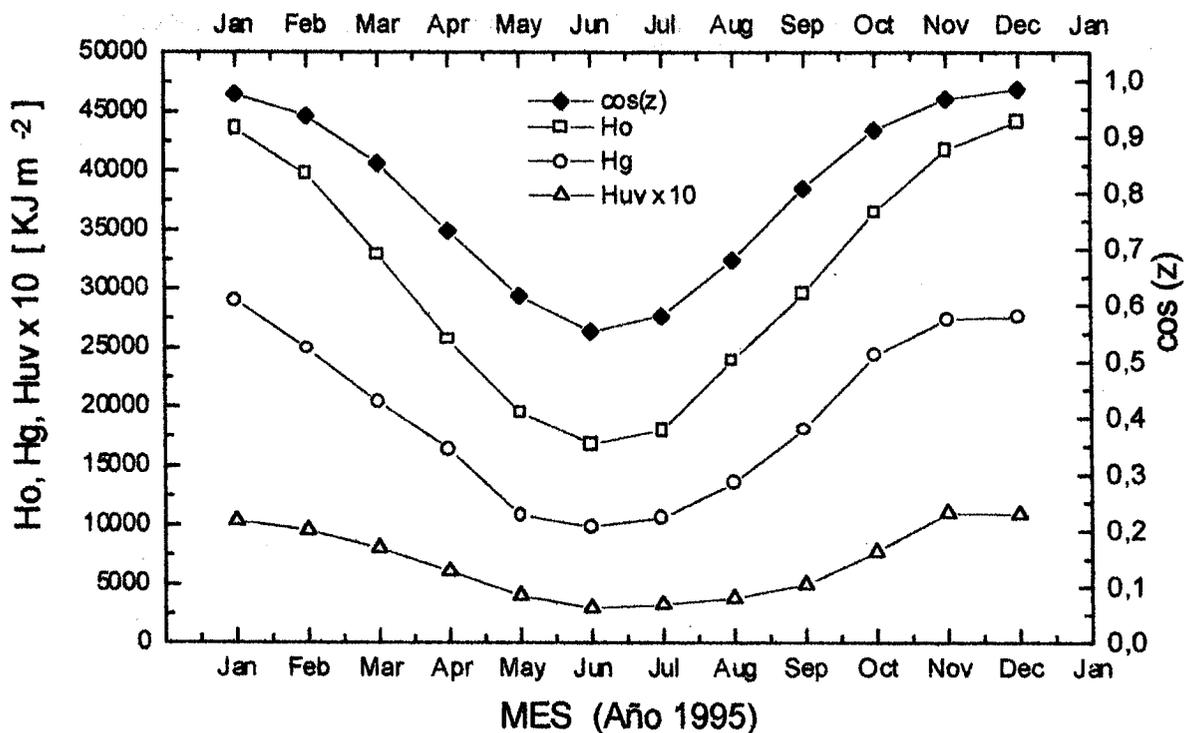


Figura 4: Promedios mensuales de las radiaciones diarias total extraterrestre (Ho), global total (Hg) y ultravioleta (Huv), y de coseno del ángulo cenital solar al mediodía ($\cos z$).

La ecuación (1) constituye la mejor regresión lineal múltiple que vincula a Huv como variable dependiente con las cuatro variables independientes siguientes: Ho, Hg, cos (z) y la cantidad media de ozono total (Oz) sobre San Luis. El coeficiente de determinación de esta relación lineal es: c.d.= 0.972; es decir (1) permite calcular la cantidad de radiación UV global diaria con una precisión mejor que el 5% en cualquier época del año.

$$\text{Huv} = 940 + 0.0227 \text{ Hg} + 0.0166 \text{ Ho} - 209 \cos(z) - 3.70 \text{ Oz} \quad (1)$$

Si omitimos la variable cos(z) la relación que encontramos es la (2) con el mismo coeficiente de determinación: c.d.= 0.972, lo que confirma la afirmación mencionada en el párrafo anterior.

$$\text{Huv} = 899 + 0.0219 \text{ Hg} + 0.0139 \text{ Ho} - 3.79 \text{ Oz} \quad (2)$$

CONCLUSIONES

En este trabajo se han dado a conocer treinta y siete meses de datos de radiación UV global diaria para San Luis. Se ha mostrado que los mismos alcanzan valores máximos de 1256 KJ m⁻² en el mes de enero, con una media anual de 623± 20 KJm⁻², lo que equivale a una cantidad total de radiación ultravioleta de 225± 3 MJ m⁻² en un año. La irradiancia global ultravioleta al mediodía en días claros varía entre 15 Wm⁻² en invierno y 45 Wm⁻² en verano.

Se ha encontrado también una expresión lineal múltiple para Huv en función de Ho, Hg, cos (z) y Oz medido en unidades Dobson (1 unidad Dobson = 1DU = columna vertical de 10⁻² mm de ozono a presión y temperatura normales) que posibilita calcular Huv con una incerteza del 3%. En este algoritmo sería conveniente introducir una variable que de cuenta de la cantidad de aerosoles atmosféricos, con lo que se podría mejorar la predicción de Huv.

REFERENCIAS

- Bojkov R.D. y Fioletov V.E. (1995). Estimating the global ozone characteristics during the last 30 years. *Journal Geophysical Research* **100** 16537.
- Herman J.R., Mc Peters R., Stolarski R., Larko D. y Hudson R. (1991). Global average ozone change from november 1978 to may 1990. *Journal Geophysical Research* **96** 17297.
- Herman J.R., Mc Peters R. y Larko D. (1993). Ozone depletion at northern and southern latitudes derived from january 1979 to november 1991 Total Ozone Mapping Spectrometer. *Journal Geophysical Research* **98** 12783.
- Herman J.R., Barthia P.K., Ziemke J., Ahmad Z. y Larko D. (1996). UV-B increases (1979-1992) from decreases in total ozone. *Geophysical Research Letters*, **23** 2117.
- Iqbal M. (1983), *An Introduction to solar radiation*, pp.49-53. Academic Press, New York.
- Orce L. (1990). Radiación Ultravioleta y Ozono Atmosférico. *Ciencia Hoy* vol. 2, n° 9, 40-48.
- Piacentini R., Alfano O. y Albizzati E. (1997). Radiaciones ultravioletas solares global y difusa: medición y modelización en el periodo agosto 1995-mayo 1997 para Rosario (Argentina). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 1, N° 1, 181-184.

COMPORTAMIENTO DE LA RAZON DIFUSA/GLOBAL DE RADIACION SOLAR PARA INDICES DE CLARIDAD MEDIO Y ALTO SOBRE LA BASE DE MEDICIONES INSTANTANEAS EN ROSARIO, ARGENTINA

E. A. Luccini¹, M. A. Parodi^{1,2} y R. D. Piacentini^{1,2,3}

1. Grupo de Energía Solar, Instituto de Física Rosario (CONICET-UNRosario), 27 de febrero 210 Bis, 2000 Rosario, Argentina. Fax: 041-821772.
2. Fac. Cs. Exactas, Ing. y Agrim. (UNRosario), Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina. Fax: 041-802654.
3. Observatorio Astronómico de Rosario, CC 606, Parque Urquiza, 2000 Rosario, Argentina. Telefax: 041-802554. E-mail: ruben@ifir.ifir.edu.ar

RESUMEN

Se estudia la correlación entre la razón difusa/global (I_d/I) de las intensidades de radiación solar y el índice de claridad k_t , utilizando una base de datos de 4 años de mediciones instantáneas a mediodía solar en la ciudad de Rosario (32.96° S, 60.62° W, 20 m. s.n.m.). Se encuentran los parámetros de ajuste para una correlación tipo Liu-Jordan [$I_d/I = f(k_t)$] y se comparan con trabajos previos. Se analiza, a través de las mediciones y el modelo C de Iqbal, la dependencia sistemática con el ángulo de elevación solar en los valores de días de cielo despejado, y su necesaria incorporación como predictor del comportamiento de la radiación difusa. Se comparan los resultados utilizando mediciones instantáneas de radiación respecto de aquellos basados en promedios temporales.

INTRODUCCION

Es fundamental, en el diseño de sistemas de aprovechamiento de energía solar, la determinación de la radiación incidente sobre las superficies colectoras. Este problema estaría resuelto si se dispusiera de un registro completo de mediciones sobre los colectores, en el lugar y orientaciones correspondientes, pero este no es el caso habitual. En la mayoría de las situaciones, y como una base de datos suficientemente completa, sólo están disponibles mediciones de radiación global y difusa sobre plano horizontal y, eventualmente, de radiación directa. Es necesario entonces el empleo de modelos que, a partir de estas mediciones, permitan determinar la radiación total incidente sobre plano inclinado, constituida por la radiación directa, difusa y reflejada por el suelo que inciden sobre la superficie colectoras orientada en una determinada dirección (Bugler, 1977; Reindl, 1988). Como requisito básico, es necesario conocer la fracción de radiación difusa presente en la radiación global sobre plano horizontal, lo cual se sistematiza por medio de los modelos empíricos del tipo de Liu-Jordan en una representación en función del índice de claridad k_t , definido como la razón de la radiación global a la extraterrestre, ambas sobre plano horizontal (Liu y Jordan, 1960; Ruth y Chant, 1976; Tuller, 1976; Orgill y Hollands, 1977; Bugler, 1977; Reindl et al, 1990; Chendo y Maduekwe, 1994; Chandrasekaran y Kumar, 1994; Collares-Pereira, 1997). Los modelos tipo Liu-Jordan son aplicables a todo intervalo de integración o promediado temporal de irradiancias medidas, desde valores instantáneos, horarios, diarios hasta mensuales (Duffie y Beckman, 1980).

No obstante, la marcada dispersión de puntos que se observa para un dado valor de k_t es un fuerte indicio de que otras variables condicionan el comportamiento de la razón I_d/I . En un detallado análisis, basado en dosis horarias de radiación, Reindl et al. (1990) demuestran que los cuatro predictores fundamentales asociados son: el índice de claridad, el seno del ángulo de elevación solar (AES), la temperatura ambiente y la humedad relativa. Estos autores proponen un modelo donde el ajuste está dado por una combinación lineal de dichos predictores, formalismo que es utilizado posteriormente por Chendo y Maduekwe (1994). Sin embargo, aún los signos de las contribuciones de cada predictor discrepan en ambos trabajos.

En este trabajo se utiliza una base de datos de mediciones instantáneas de irradiancia, a la que se le aplica un modelo simple del tipo Liu-Jordan de ajuste en función del índice de claridad, y se realiza un análisis de la dependencia sistemática con el AES en las mediciones a cielo despejado, y de la base física de su incorporación como predictor en el comportamiento de la fracción difusa de radiación.

MEDICIONES

Se analiza una base de datos de 4 años (1994-1998) de mediciones de irradiancia solar global y difusa (esta última utilizando círculo de sombra) con un piranómetro Kipp & Zonen CM5, en el Observatorio Astronómico de Rosario (32.96° S, 60.62° W, 20 m s.n.m.). Se realizaron sistemáticamente tres mediciones diarias en un intervalo de tiempo de $\pm 1/2$ hora alrededor del mediodía solar. El tiempo de estabilización del instrumento es de aproximadamente 2 minutos, de modo que el tiempo transcurrido, procurando siempre que sea mínimo, entre una medición de irradiancia global y la correspondiente de difusa es de unos 5 minutos. Con este procedimiento hay una alta probabilidad de que, aún en caso de nubosidad, la medición se realice con Sol directo descubierto, por lo cual nuestro análisis está basado principalmente en casos de índice de claridad medio y alto, que corresponde a la mayoría de los puntos obtenidos.

ANALISIS

1.) Ajuste tipo Liu-Jordan

La figura 1 muestra la fracción difusa/global de intensidades de radiación solar, I_d/I , en función de $k_t = I/I_0$, según las

mediciones obtenidas. Como se señaló, la mayoría de los puntos corresponden a casos de índice de claridad medio y alto. El cúmulo de puntos en valores altos de k_t corresponde a mediciones a cielo despejado.

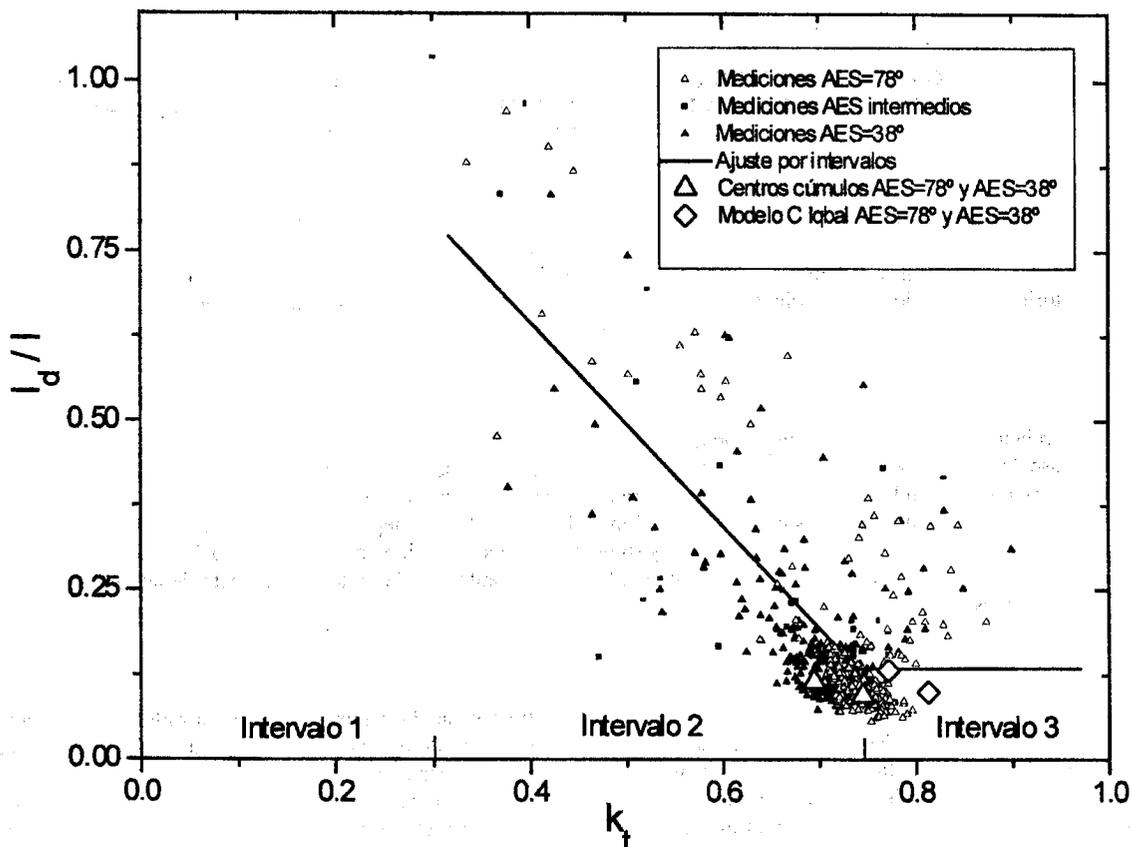


Fig. 1. Razón de irradiancia difusa/global en función del índice de claridad medidos en el Observatorio Astronómico de Rosario entre 1994-1998, junto con las rectas de ajuste en los intervalos con datos disponibles. Los puntos medidos (triángulos grandes) y modelizados (rombos) con índice de claridad mayor corresponden a AES=78°, y con índice de claridad menor a AES=38°.

En base a un análisis detallado, realizado por Reindl et al. (1990), se distinguen tres intervalos de k_t :

Intervalo 1: $0 \leq k_t < 0.3$

Dado que no se dispone de puntos experimentales, lo analizaremos en términos de los resultados del siguiente intervalo. Referencias previas muestran un ajuste lineal

$$I_d/I_g = A_1 * k_t + B_1$$

Intervalo 2: $0.3 \leq k_t \leq 0.74$

El extremo mayor del intervalo se eligió como el valor de k_t para el centro del cúmulo de puntos correspondiente a AES=78° en días de cielo despejado. Se realiza un ajuste lineal incluyendo todos los puntos disponibles.

$$I_d/I_g = A_2 * k_t + B_2$$

Intervalo 3: $0.74 < k_t$

con un valor constante de I_d/I_g definido por el extremo del intervalo anterior.

$$I_d/I_g = B_3$$

Los parámetros de ajuste se presentan en la tabla 1 (ver en el Apéndice el detalle del procedimiento de cálculo), junto con resultados de trabajos previos similares. Las incertezas en los parámetros representan un ajuste fuertemente dominado por la mayor densidad de puntos con índices de claridad altos, y el análisis de errores relativos por tramos detallado en el Apéndice.

Tabla 1. Parámetros de ajuste obtenidos a partir de mediciones de irradiancia instantánea en el Observatorio Astronómico de Rosario, comparados con ajustes de trabajos previos basados en promedios horarios.

	Intervalo 1		Intervalo 2		Intervalo 3
	A ₁	B ₁	A ₂	B ₂	B ₃
Presente trabajo	----	----	-1.5 ± 0.1	1.2 ± 0.1	0.13 ± 0.02
Chendo y Maduekwe (1994)	-0.156	1.022	-1.396	1.385	0.264
Reindl et al. (1990)	-0.248	1.020	-1.67	1.45	0.147
Orgill y Hollands (1977)	-0.249	1.0	-1.84	1.557	0.177

2.) Dependencia con el ángulo de elevación solar.

En la figura 1 se observa, en los puntos medidos correspondientes a días de cielo despejado, una dependencia con el AES que implica un sistemático desplazamiento de los puntos hacia valores menores de k_t y mayores de I_d/I , conforme disminuye el AES. Esta dependencia se explica razonablemente por el incremento de la dispersión al aumentar el camino óptico de la radiación solar (aumenta la proporción de radiación difusa en la global I_d/I) y la simultánea disminución de radiación global (la disminución de radiación directa domina por sobre el incremento de difusa) respecto de la extraterrestre sobre plano horizontal (disminuye k_t), en tanto disminuye el AES. Esta relación ha sido ampliamente verificada tanto a través de mediciones (Bugler, 1977) como de cálculos con modelos para cielo despejado en el presente trabajo.

Para cuantificar tal dependencia, se identificaron los puntos centrales de los cúmulos de puntos de mediciones a cielo despejado correspondientes a los AES extremos ($78^{\circ} \pm 3^{\circ}$ y $38^{\circ} \pm 3^{\circ}$), por medio de histogramas en cada uno de los ejes. Los puntos así identificados se observan en la figura 1, junto con puntos resultantes de cálculos mediante el modelo C de Iqbal (Iqbal, 1983), el cual cuenta con una alta confiabilidad de precisión respecto de mediciones y modelos más sofisticados (Gueymard, 1993). Los cálculos se realizaron para AES= 78° y AES= 38° , con los siguientes valores fijos de los parámetros atmosféricos: presión atmosférica=1000 hPa, ozono=300 UD, vapor de agua precipitable=1 cm, aerosoles: $\alpha=0.84$, $\beta=0.04$, albedo=0.20

Tabla 2. Desplazamiento relativo de los puntos correspondientes a días de cielo despejado, medidos y modelizados, evidenciando la dependencia sistemática con el ángulo de elevación solar, en este caso entre AES= 78° y AES= 38° .

	Desplazamiento porcentual	
	Δk_t	$\Delta(I_d/I)$
Mediciones	-6.7 %	+21 %
Modelo C Iqbal	-5.0 %	+32 %

Si se asume la linealidad de la respuesta del instrumento, la constante de calibración del mismo no tendrá incidencia en I_d/I , pero sí en k_t por la forma en que está definido. Posibles errores en la constante de calibración del instrumento se verán reflejadas en discrepancias con los valores de k_t predichos por el modelo. También se tiene la limitación de utilizar valores estimados de los parámetros en los cálculos del modelo. Por tales motivos, se decidió determinar el desplazamiento relativo de los puntos medidos y calculados, que se muestra en la tabla 2. Entonces se obtuvo para AES= 78° y AES= 38° , en ambos casos, el desplazamiento relativo que implica la disminución en k_t respecto del mayor valor, y el aumento simultáneo en I_d/I respecto del menor valor.

CONCLUSIONES

Se ha realizado un análisis del comportamiento de la fracción difusa/global de radiación solar, basado en mediciones instantáneas de irradiancia global y difusa. Se propone una parametrización de la misma de tipo Liu-Jordan, en función sólo del índice de claridad. La solución propuesta consiste en ajustes de rectas en los intervalos de índice de claridad medio y alto.

Entre las ventajas de abordar el problema mediante mediciones instantáneas debemos mencionar la precisión con que es posible determinar el AES, a diferencia de los promedios horarios que incluyen siempre un rango relativamente amplio de variación del AES durante la hora promediada. También la medición instantánea permite, en caso de disponer de una cantidad importante de datos, estudiar en detalle el intervalo de índices de claridad superiores al esperado en días de cielo despejado, dado que estas mediciones se dan en casos de nubosidad parcial sin cubrir el Sol directo, donde las nubes incrementan marcadamente la radiación por dispersión múltiple y reflexión por bordes (Piacentini et al, 1998), y esta situación es menos probable en intervalos de integración temporal ya que habitualmente el Sol directo queda ocasionalmente cubierto durante ese intervalo de tiempo. Aquí se ha simplificado el tratamiento en este caso, considerando una recta de pendiente nula, tal cual algunas referencias previas (Orgill y Hollands, 1977; Reindl et al, 1990; Chendo y Maduekwe, 1994).

En el presente estudio se tiene la limitación de disponer de un único instrumento para las mediciones de irradiancia global y difusa, donde en casos de nubosidad las condiciones pueden variar significativamente durante el tiempo de medición. El sistema de medición implementado, de tres mediciones diarias alrededor del mediodía solar, hace que se disponga de escasos puntos de nubosidad, razón por la cual el análisis se centra en casos de índice de claridad medio y alto.

Con el fin de sentar una base física para la incorporación del AES como predictor del comportamiento de la fracción difusa, y haciendo uso de la mayoría de puntos disponibles, hemos analizado la dependencia sistemática con dicho ángulo de los valores de días de cielo despejado, basados en la evidencia experimental, y fundamentada mediante cálculos con un modelo paramétrico a cielo despejado de probada eficiencia, el modelo C de Iqbal.

Los resultados del análisis entre AES= 78° y AES= 38° , presentados en la figura 1, muestran una diferencia en los valores de los índices de claridad correspondientes, atribuible en principio a una imprecisión en la calibración del instrumento o, eventualmente, a los parámetros atmosféricos ingresados en el modelo. También hay una diferencia en I_d/I . Por este motivo, el análisis de la tabla 2 sólo contempla el desplazamiento relativo de los puntos, que coincide plenamente de manera cualitativa.

Se observa que el aumento relativo de la fracción de radiación difusa previsto por el modelo es mayor que el registrado por las mediciones. En tal sentido, nuestro estudio se basa únicamente en la dependencia con el índice de claridad y el AES como los dos principales predictores. El trabajo previo de Reindl et al. (1990) encuentra que los siguientes predictores en orden de

importancia son la temperatura ambiente y la humedad relativa, aunque, como se señaló anteriormente, distintos trabajos muestran discrepancias aún en el signo de estas contribuciones.

Debe resaltarse que, en el presente caso, la dependencia con el AES se obtiene a partir de datos con una estacionalidad intrínseca, ya que los AES mayores corresponden a mediodías solares próximos al solsticio de verano, y los AES menores al solsticio de invierno. En Rosario, ambas estaciones tienen características muy distintas: temperatura media más elevada y menor humedad relativa en verano. De modo tal que en un estudio más detallado la intervención de estos predictores debe ser incluida, y puede, eventualmente, disminuir las discrepancias antes indicadas entre las mediciones y el modelo.

Otro resultado particular es el bajo valor de la razón difusa/global en días de cielo despejado en la ciudad de Rosario, aún para AES intermedios, que se observa en el valor constante de I_d/I en el Intervalo 3 de análisis de las mediciones, comparado con resultados de referencias en otras localidades (ver tabla 1), aunque este resultado está condicionado, por ejemplo, por la elección de los extremos de los intervalos en cada caso.

AGRADECIMIENTOS

A los Sres José Pomar, por el apoyo técnico en la realización de las mediciones y Pablo García, por la colaboración en el procesamiento de datos. Este trabajo fue realizado con el apoyo parcial de un Subsidio PIA del CONICET y de las becas de doctorado FOMEC/Ministerio de Educación de la Nación de los Lic. Eduardo Luccini y Miguel Parodi.

REFERENCIAS

- Bugler J.W. (1977) "The determination of hourly insolation on an inclined plane using a diffuse irradiance model based on hourly measured global horizontal insolation". *Solar Energy* 19 477-491.
- Chandrasekaran J. y Kumar S. "Hourly diffuse fraction correlation at a tropical location". *Solar Energy* 53 505-510.
- Chendo M.A.C. y Maduekwe A.A.L. (1994) "Hourly global and diffuse radiation of Lagos, Nigeria. Correlation with some atmospheric parameters". *Solar Energy* 52 247-251.
- Collares-Pereira M. (1997) "Ingeniería del Secado Solar". Capítulo 2. Editado por CYTED-D.
- Duffie J.A. y Beckman W.A. (1980) "Solar Engineering of Thermal Processes". Edit. John Wiley.
- Gueymart C. (1993) "Critical analysis and performance assessment of clear sky irradiance models using theoretical and measured data". *Solar Energy* 51 121-138.
- Iqbal. M. (1983) "An introduction to solar radiation". Editorial Academic Press, New York, EUA.
- Liu B.Y. y Jordan R.C. (1960) "The interrelationship and characteristic distribution of direct, difuse and total solar radiation". *Solar Energy* 4 1-19.
- Orgill J.F. y Hollands K.G.T. (1977) "Correlation equation for hourly diffuse radiation on a horizontal surface". *Solar Energy* 19 357-359.
- Piacentini R.D., Cede A. y Bárcena H. (1998) "Solar intensities higher than the solar constant measured near the summer solstice at the Puna of Atacama (Argentina)" *Workshop Understanding Stratospheric Ozone and UV-B Radiation: Past accomplishments and future opportunities*. Buenos Aires.
- Reindl D.T. (1988) "Estimating difusse radiation on horizontal surfaces and total radiation on tilted surface". Tesis Doctoral. Universidad de Wisconsin-Madison. Madison.
- Reindl D.T., Beckman W.A. y Duffie J.A. (1990) "Diffuse fraction correlations". *Solar Energy* 45 1-7.
- Ruth D.W. y Chant R. (1976) "The relationship of diffuse radiation to total radiation in Canada". *Solar Energy* 18 153-154.
- Tuller S.E. (1976) "The relationship between diffuse, total and extra terrestrial solar radiation". *Solar Energy* 18 259-263.

APENDICE: PROCEDIMIENTO DE CALCULO DE AJUSTE LINEAL EN INTERVALO 2

Para realizar el ajuste en el intervalo 2 se lo dividió en tramos de paso 0.1 en k_t , en cada uno de los cuales se calculó el valor medio de I_d/I con su desviación estándar, tal cual se muestra en tabla A1, y se realizó un ajuste lineal pesado con dichos puntos asignados al centro de cada tramo en k_t . La mayor densidad de puntos en índices de claridad altos domina el ajuste, y la incerteza relativa porcentual, semejante en todos los tramos, se traduce en mayores incertezas en los parámetros de ajuste pesado, comparados a una regresión lineal sin consideración de los pesos estadísticos de cada punto.

Tabla A1. Promedios por tramos en índice de claridad con sus correspondientes desviaciones estándar e incertezas relativas, utilizados en el ajuste pesado lineal en el intervalo 2.

Intervalo promediado	Valor medio	Incerteza relativa porcentual
$0.3 < k_t \leq 0.4$	0.70 ± 0.24	34 %
$0.4 < k_t \leq 0.5$	0.61 ± 0.20	33 %
$0.5 < k_t \leq 0.6$	0.46 ± 0.18	39 %
$0.6 < k_t \leq 0.7$	0.21 ± 0.12	57 %
$0.7 < k_t \leq 0.8$	0.13 ± 0.05	38 %

**MEDICION ABSOLUTA Y MODELIZACION DE RADIACION SOLAR ESPECTRAL DIRECTA DE 305.5 nm
EN ROSARIO, ARGENTINA**M. I. Micheletti^{1,2}, E. A. Luccini¹ y R. D. Piacentini^{1,2,3}

1. Grupo de Energía Solar, Instituto de Física Rosario (CONICET-UNRosario), 27 de febrero 210 Bis, 2000 Rosario, Argentina. Fax: 041-821772.
2. Fac. Cs. Exactas, Ing. y Agrim. (UNRosario), Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina. Fax: 041-802654.
3. Observatorio Astronómico de Rosario, CC 606, Parque Urquiza, 2000 Rosario, Argentina. Telefax: 041-802533/54. E-mail: ruben@ifir.ifir.edu.ar

RESUMEN

Se presentan resultados de mediciones efectuadas en el Observatorio Astronómico de Rosario (32.96° S, 60.62° W, 20 m. s.n.m.) con instrumento MICROTOPS II, medidor de radiación ultravioleta B (UVB) espectral directa y capa de ozono, desde el 20/03/98 hasta el 14/08/98. Se analiza, en particular, la dependencia de la intensidad de radiación de 305.5 nm con el ángulo zenital, discriminando épocas del año y valores de capa de ozono correspondientes. Durante el período de medición, a iguales ángulos zenitales, se obtienen progresivamente menores valores de radiación UVB, en concordancia con el comportamiento creciente de los valores promedio de ozono en el lugar. Se comparan los resultados medidos con los que proporciona un modelo de transferencia radiativa UV, para las condiciones de cielo claro en que se han realizado las mediciones.

INTRODUCCION

La capa de ozono estratosférica, constituida por moléculas de O₃ distribuidas mayoritariamente entre los 15 y 40 km de altura, es esencial para la vida en la Tierra, dado que reduce significativamente la intensidad de las radiaciones ultravioletas más energéticas (rango UVB: 290-320 nm). El deterioro que dicha capa ha sufrido durante las últimas décadas, trae como consecuencia un incremento en los niveles de UVB que puede resultar muy perjudicial para los sistemas biológicos del planeta (Informes UNEP 1991, 1994). Es por ello que cobra creciente importancia determinar la irradiancia solar en este rango espectral que llega a la superficie terrestre y correlacionarla con los valores de la capa de ozono. El conocimiento detallado de la radiación solar próxima a 305 nm es de gran importancia, ya que tiene una marcada implicancia biológica, por estar cerca del máximo de efecto de daño al ADN y de carcinogénesis (Jagger, 1985).

En trabajos anteriores (Alfano et al., 1994; Piacentini, 1995a) se realizaron mediciones de las intensidades solares en 305 nm y 315 nm en el Observatorio Astronómico de la Ciudad de Rosario (32.96° S, 60.62° W, 20 m. s.n.m.) y se compararon con resultados obtenidos en otros puntos geográficos (Piacentini et al., 1995; Díaz et al., 1996). Sin embargo, en tales casos sólo se disponía de valores *relativos*, medidos con un instrumento desarrollado por Tocho y colaboradores en el CIOp/La Plata, para inferir columna vertical de ozono a través de la razón de dos intensidades en diferentes longitudes de onda en el rango UVB. Además, el ancho de banda (8 nm) y el campo de visión del instrumento eran sensiblemente mayores, y se empleó un modelo paramétrico, de Bird y Riordan (1986), para describir las intensidades solares ultravioletas directas. En este trabajo se presentan para Rosario valores *absolutos* de estas intensidades, medidas con un instrumento MICROTOPS II en 305.5 nm, con un ancho de banda de sólo 2.6 nm y campo de visión de 2.5°. Dichos valores se comparan con cálculos realizados mediante el modelo de transferencia radiativa de Madronich (1998), considerando los parámetros correspondientes a las condiciones en que se ha medido, para determinar la intensidad solar de 305.5 nm en función del ángulo zenital.

Se compara la intensidad solar de 305.5 nm en función del ángulo zenital con la curva teórica que resulta de aplicar el modelo de Madronich y considerando los parámetros correspondientes a las condiciones en que se ha medido.

INSTRUMENTO

El MICROTOPS II es un fotómetro solar manual que mide radiación solar UVB directa y ozono, así como otros parámetros atmosféricos tales como columna de vapor de agua y espesor óptico de aerosoles. El instrumento está equipado con 5 colimadores ópticos, alineados con precisión, con un campo visual total de 2.5° y aletas que eliminan las reflexiones internas, que permiten medir radiación espectral en tres longitudes de onda UV (300±1.2, 305.5±1.2 y 312.5±1.2 nm), y dos IR (940±5 y 1020±5 nm, opcionales en este caso). Cada canal se ajusta con un filtro de interferencia de banda angosta y un fotodiodo adecuado para el rango de longitud de onda particular. Además, el instrumento consta de un blanco solar, de manera tal que cuando la imagen del Sol está centrada en dicho blanco, todos los canales ópticos están apuntando en forma directa al disco solar. También es parte de la medición una pequeña cantidad de radiación circumsolar, pero la misma contribuye muy poco a la señal.

La radiación capturada por los colimadores y luego filtrada, incide en los fotodiodos produciendo una corriente eléctrica proporcional a la energía radiante interceptada por dichos fotodiodos. Estas señales son luego convertidas a la forma digital.

El principio en el que se basa la medición de la Columna total de ozono del MICROTOPS II es el siguiente: el ozono absorbe mucho más las radiaciones UV de longitud de onda pequeña que las de longitud de onda grande, por lo cual la razón entre las intensidades en dos longitudes de onda de radiación solar UVB es proporcional a la columna de ozono en la atmósfera.

Dado que con el instrumento disponible sólo se cuenta con dos de sus tres canales UV (300 y 305.5 nm) durante el período de medición, los valores de ozono obtenidos tienen una desviación sistemática que requiere un estudio exhaustivo. Además, teniendo en cuenta la alta precisión que han alcanzado las mediciones de ozono con instrumentos satelitales, se han utilizado en el modelo teórico los valores obtenidos por el instrumento TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)/Earth Probe, para el pixel correspondiente a las coordenadas de Rosario, durante los mismos días que midió el MICROTOPS II.

MODELO MATEMATICO

El modelo utilizado, provisto por el Dr. Sasha Madronich, se basa en la resolución explícita de las ecuaciones de transferencia radiativa en el rango UV. Considera la esfericidad de la atmósfera en la radiación directa y emplea el algoritmo two-stream en la resolución de las ecuaciones en atmósfera plano-paralela para la contribución difusa. Mediante el modelo se calcula la irradiancia espectral directa con separación espectral de 1 nm.

Tal cual lo indicado en el manual del instrumento, se construyó una función respuesta gaussiana de acuerdo al filtro espectral de cada canal, normalizada a 1 en el máximo y ancho espectral en el semi-máximo de 2.6 nm.

La irradiancia absoluta, a comparar con lo medido por el instrumento, es entonces la integral en longitudes de onda del producto entre la irradiancia espectral calculada con el modelo y la respuesta espectral del instrumento.

ANALISIS

1.) Nubosidad sobre Sol directo

Se analizaron las mediciones de irradiancia absoluta en 305.5 nm correspondientes a Sol directo descubierto, sin niebla o bruma, y nubosidad menor o igual que 25%, en función del ángulo zenital. Los ajustes polinómicos de segundo grado en los casos de nubosidad 0% y en aquellos con nubosidad parcial muestran muy buena coincidencia, como se aprecia en la figura 1.

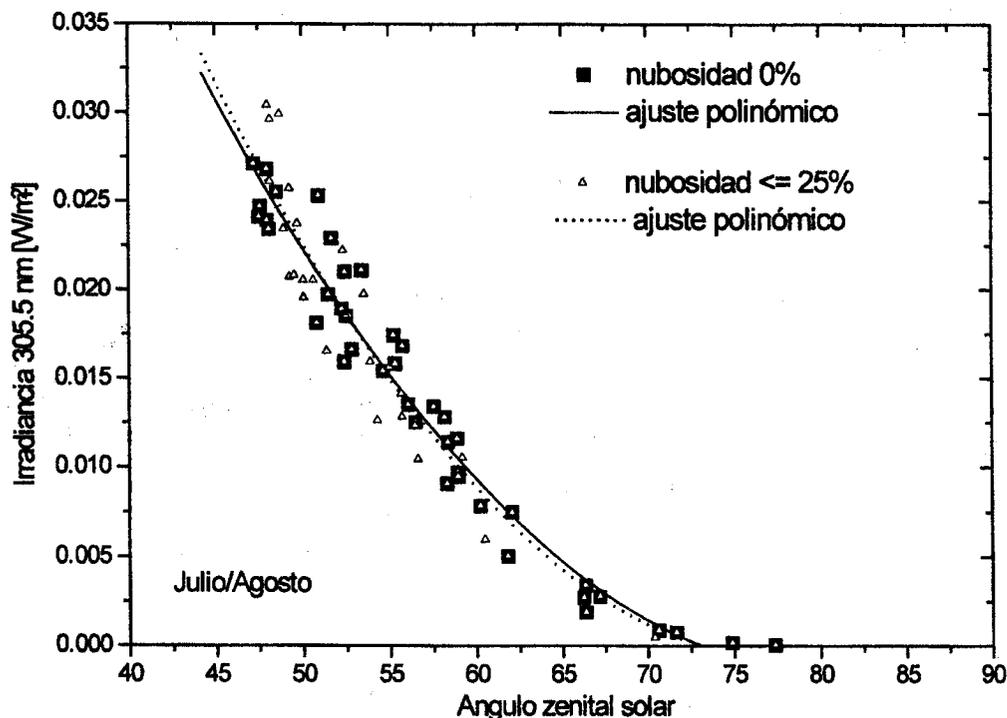


Figura 1. Irradiancia absoluta directa medida en 305.5 nm en función del ángulo zenital, distinguiendo los casos de nubosidad nula y nubosidad parcial, junto con los polinomios de ajuste correspondientes. Datos de julio-agosto 1998.

Se deduce que, en general, la nubosidad parcial localizada que no obstruye el Sol directo no presenta "entre-nubes" relevantes que interfieran en mediciones de radiación UV directa. Por consiguiente, para este tipo de mediciones no es necesario contar con la situación extrema de cielo completamente despejado sino que se tiene un espectro más amplio de situaciones en las que es posible efectuar las mismas.

2.) Dependencia con el ángulo zenital y capa de ozono

Con el fin de analizar la respuesta de la radiación en 305.5 nm al comportamiento estacional de la capa de ozono, las mediciones fueron agrupadas por bimestres: Marzo/Abril, Mayo/Junio y Julio/Agosto, como se aprecia en la figura 2. Las condiciones climáticas estuvieron caracterizadas por un elevado número de días nublados y lluviosos, lo que redujo las posibilidades de medición. En la modelización se utilizaron los valores promedios de las mediciones satelitales de ozono sobre la zona correspondiente a Rosario de los días en que se midió con MICROTUPS II de cada bimestre, correspondiendo 277 U.D. a Marzo/Abril, 290 U.D. a Mayo/Junio y 314 U.D. a Julio/Agosto. Los valores fijos de parámetros de Angstrom de aerosoles empleados fueron $\alpha=1.3$ y $\beta=0.074$

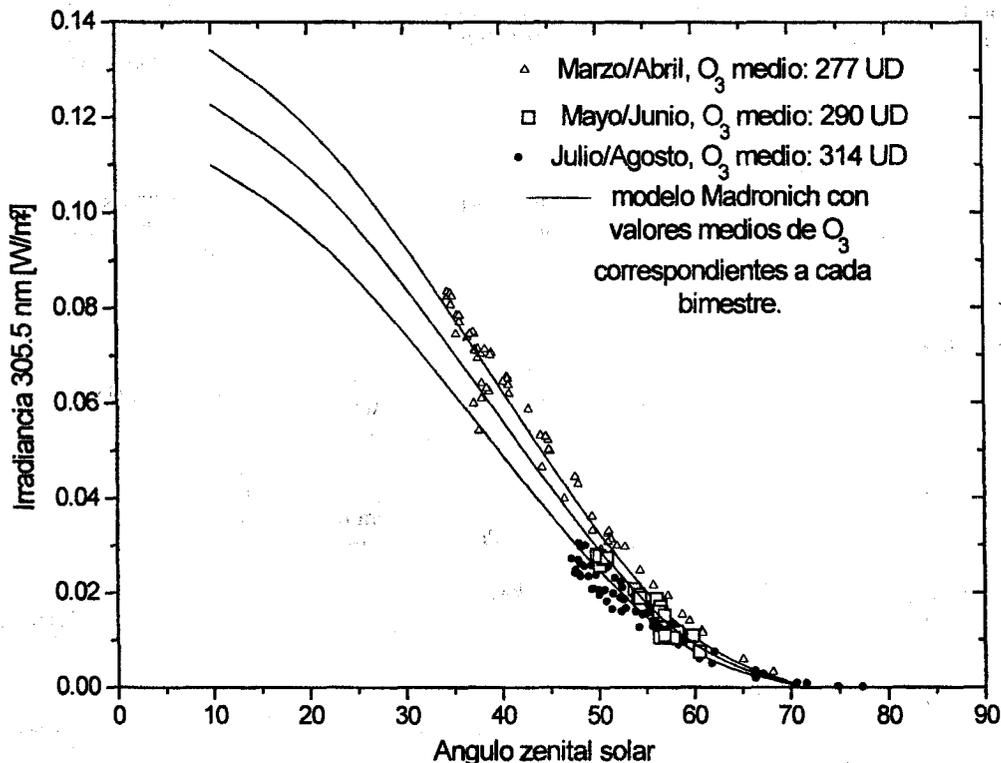


Figura 2. Irradiancia solar directa en 305.5 nm medida y modelizada en función del ángulo zenital, distinguiendo periodos bimestrales con sus correspondientes valores medios satelitales de ozono. Las curvas se extienden hasta el ángulo zenital mínimo para Rosario, de modo de dar una representación en otros periodos del año con valores de ozono similares a los indicados.

La dependencia de la irradiancia con el ángulo zenital muestra un comportamiento típico, que se revela coincidentemente en las mediciones y en la modelización. La utilización de un único valor de ozono, el valor medio de cada bimestre, en la modelización da como resultado que las curvas teóricas representen el comportamiento medio de las mediciones en cada periodo. Las curvas teóricas se extendieron hasta los valores de ángulo zenital más pequeños, característicos de primavera/verano en la región, para los espesores de capa de ozono considerados. Datos para otros espesores pueden obtenerse por interpolación.

La capa de ozono presenta una estacionalidad característica que implica, a latitudes medias, un mínimo en otoño y un máximo en primavera en ambos Hemisferios. Esto se revela en los valores medios en cada bimestre, con un progresivo incremento de Marzo/Abril a Julio/Agosto. Las mediciones de irradiancia UV en 305.5 nm se comportan en directa respuesta a esa estacionalidad, que se manifiesta en la figura 2 con una sistemática disminución de la irradiancia en ángulo zenital fijo conforme avanzan los periodos, con las curvas teóricas representando el comportamiento medio, tal como se señaló.

CONCLUSIONES

El empleo de modelos probados como referencia para la verificación de instrumentos que miden variables geofísicas (intensidad de radiación solar, capa de ozono, etc.) ha sido propuesto por diferentes autores (Barthia y Herman, 1998). La medición espectral absoluta de irradiancia solar UVB es altamente difícil debido, principalmente, a las bajas intensidades involucradas y a la degradación de los detectores por acción de la radiación.

En base al buen acuerdo logrado en la comparación entre mediciones con el instrumento MICROTUPS II y los cálculos de la simulación teórica con un modelo ampliamente reconocido (Madronich, 1998; Madronich y Flocke, 1997), puede concluirse que, al menos en el rango de variables y parámetros geofísicos considerados, el equipo mide con marcada precisión la

irradiancia absoluta directa en la banda angosta investigada, 305.5 nm.

Las mediciones revelan, en cerrada coincidencia con los cálculos del modelo a valores medios, la dependencia de la irradiancia solar UVB al contenido de ozono atmosférico. Los valores de ozono respondieron durante el período de medición, a la estacionalidad característica en latitudes medias, con un progresivo incremento desde otoño hacia primavera, con la consiguiente disminución de radiación solar UVB directa para idénticos ángulos zenitales observada en las mediciones.

La relevancia de estas mediciones radica en estar realizadas en una región altamente poblada del país, y que pueden servir como parámetro sobre los niveles de irradiancia UV en una amplia zona y posible daño ante sobre-exposiciones a la radiación solar. El presente trabajo da muestras de la utilidad recíproca de las mediciones y la modelización teórica, sirviendo mutuamente como elementos de contrastación. Entre otras aplicaciones, permite verificar indirectamente el modelo del Índice Solar Ultravioleta (ISUV) desarrollado en el Observatorio Astronómico de Rosario (Piacentini, 1995b) y pronosticado diariamente por el Servicio Meteorológico Nacional, así como también los mapas de radiación solar ultravioleta y dosis eritémica desarrollados por Cede, Piacentini y Stengel (1998) para su aplicación en la determinación del riesgo solar en Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen muy especialmente al Sr. José Pomar por el apoyo técnico en las mediciones, al Sr. Pablo García por su colaboración en la tarea informática, al Dr. Sasha Madronich por importantes discusiones relativas a su modelo y al tema del presente trabajo, al Lic. en Meteorología y Vco. Gustavo Talamoni (Aeropuerto Córdoba) y al Sr. Saúl Berger de Solar Light, EUA, por facilitar el equipo MICROTOPS II.

REFERENCIAS

- Alfano O., Albizzati E., Piacentini R.D. y Tocho J. (1994). "Medición y modelización de la radiación UVB solar incidente sobre Rosario y Mar del Plata (Argentina) en período estival." Actas de *ASADES* 2 763.
- Barthia P. y Herman J. (1998). Goddard Space Flight Center/NASA. Comunicación privada.
- Bird R.E. y Riordan C. (1986). "Simple solar spectral model for direct and diffuse irradiance on horizontal and tilted planes at the Earth's surface for cloudless atmospheres". *J. Climate Appl. Meteor.* 25 87.
- Cede A., Piacentini R.D. y Stengel F. (1998). "Método simplificado para que los dermatólogos realicen el pronóstico de riesgo solar en Argentina". Comunicación presentada en el Congreso Argentino de Dermatología". Buenos Aires, Agosto de 1998.
- Díaz S.B., Frederick J.E., Timothy L., Booth C. y Smolskaia I. (1996). "Solar ultraviolet irradiance at Tierra del Fuego: Comparison of measurements and calculations over a full annual cycle". *Geophys. Res. Letters*, 23 355.
- Jagger J. (1985) "*Solar UV actions on living cells*". Editorial Praeger, N. York, EUA.
- Madronich S. (1998). Comunicación privada.
- Madronich, S. y Flocke, Siri. "Theoretical estimation of biologically effective UV radiation at the earth's surface", en el libro "Solar Ultraviolet Radiation". Editores: C. Zerefos y A. Bais. Editorial Springer-Verlag (1997), y referencias citadas en este libro.
- Piacentini R.D. (1995a). "Las radiaciones ultravioletas solares B (UVB) y sus acciones sobre la piel en primavera-verano." Actualizaciones Terapéuticas Dermatológicas. (Revista del Colegio Ibero-Latinoamericano de Dermatología) 18 449.
- Piacentini R.D. (1995b). "Método simple para la determinación del Índice Solar Ultravioleta (ISUV)". Informe Interno OAMR/IFIR 1/95.
- Piacentini R.D., Alfano O., Albizzati E. y Aisse M. (1995). "Radiaciones ultravioletas solares incidentes sobre el Estado de Paraná, Brasil". Actas de *ASADES* 1. 04. 23.
- United Nations Environment Program Report (1991), (1994).

**ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA GENERACION DE SECUENCIAS
SINTETICAS DE VALORES DE RADIACION SOLAR**

J. Adaro; D. Cesari; A. Lema; P. Galimberti

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Río Cuarto
Ruta Nac. Nº 36 km 601 - 5800- Río Cuarto
Tel. y Fax: (058) 676246, e-mail: aadaro@ing.unrc.edu.ar**RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo es adoptar una metodología de trabajo que permita generar secuencias de valores de radiación solar global. Se realiza un estudio preliminar sobre la generación de secuencias de radiación usando el concepto de Cadenas de Markov. Para ello se analiza la disponibilidad de datos y se investiga sobre la posibilidad de usar tal metodología calculando previamente valores de índices de claridad. Con datos de radiación disponible y provistos por el Servicio Meteorológico Nacional para Río Cuarto se realiza el estudio preliminar buscando validar el modelo a los efectos de poder trasladar la utilización de la metodología en otras regiones.

INTRODUCCION

Una alternativa para la generación de secuencias de radiación es considerar los modelos en donde las variables son consideradas directamente como un conjunto de valores que se suceden en el tiempo. Casi todos los modelos temporales aplicados a series de tipo geofísico se basan, implícitamente o explícitamente en el concepto de cadenas de Markov (Gazmuri, et al 1995). los modelos markovianos han sido muy usados en la descripción y modelado de procesos naturales - por ejemplo escurrimientos hidrológicos, movimientos marítimos, intensidades de viento, temperatura y por supuesto radiación solar (Aguiar et al., 1996; Aguiar et al., 1988).

El concepto de la cadena de Markov encara el proceso estocástico como una secuencia de estados. En cada estado o sistema que sufre una evolución en el tiempo y caracterizado de forma total por un cierto conjunto de valores - como variables de estado, ó parámetros. Los valores de los parámetros pueden variar en forma discreta o continua, pero el sistema evoluciona siempre de un estado a otro a través de saltos discretos de tiempo.

Assumiendo que, en un cierto instante de tiempo, t , el sistema que evoluciona está en un estado caracterizado por un conjunto de m parámetros $\{M_i\}$. Una Cadena de Markov o estado actual de un sistema depende determinísticamente de un número finito L_1 de estados anteriores, esto es, de la historia reciente del sistema, además existe una contribución indeterminada por la transición entre los estados, por "choques" aleatorios independientes del estado actual, de toda la historia anterior del sistema, L_2 pasos de tiempo atrás. El algoritmo de evolución toma en cuenta, explícita e implícitamente, propiedades estadísticas de primer y segundo orden, con detenimiento varía conforme a lo sofisticado del modelo.

Los modelos de la Cadena de Markov son especialmente útiles en el modelado de sistemas que poseen "inercias", por ejemplo del tipo cinético ó térmico, en el modelado de sistemas donde no es posible (ó conveniente) analizar un sistema con gran detalle, por ejemplo debido a un número muy grande de parámetros necesarios, o debido a la complejidad de los fenómenos involucrados.

La utilización correcta del concepto de cadena de Markov presupone asimismo que se pueden identificar un conjunto de m parámetros que describen ó esencialmente dan el comportamiento del sistema, en donde se puede representar por variables aleatorias una restante variabilidad encontrada. Asimismo es necesario entender que se debe pesar correctamente cuál es la parte de la variabilidad a dejar sin explicar. En efecto, un modelo estocástico en donde esta variabilidad no explicada sea minúscula con relación al total probablemente describirá apuradamente una serie particular que sirva de base para la construcción del modelo, más no se modela correctamente el proceso estocástico, en el sentido que queda permitido en el modelo obtener toda una gama de comportamientos posibles del sistema investigado.

El concepto de cadena de Markov incluye la existencia de choques aleatorios, y claro que en cada ensayo particular de generación de series sintéticas con un modelo Markoviano, una secuencia de intensidades de choques será variable. Asimismo, contrariamente a lo que acontece con las utilizaciones habituales de los modelos espectrales, las propiedades estadísticas de las series sintéticas markovianas pueden desviarse de las propiedades estadísticas de las series observadas que sirven de base para la construcción de los modelos - y esto no es casi por las imperfecciones de los modelos,

sino se debe mas a las secuencias de los choques aleatorios de las muestras. Inclusive pueden ocurrir secuencias "patológicas", especialmente cuando la extensión de las secuencias a generar es pequeña.

METODOLOGIA

Existen dos grandes clases de modelos basados en el concepto de cadenas de Markov: los modelos en que los choques aleatorios que hacen evolucionar un sistema de un estado al siguiente son introducidos explícitamente en la ecuación que da el estado del sistema a cada instante - Modelos Auto-Regresivos de Media Móvil (sigla inglesa ARMA, AutoRegressive Moving Average) - y aquellos en donde los choques son introducidos implícitamente, por medio de un algoritmo de evolución de un estado al otro, de acuerdo con ciertas probabilidades de transición - Modelo de la Matriz de Transición de Markov (sigla MTM).

La idea en que se basan los modelos MTM, es que, siendo posible calcular la probabilidad de transición de un sistema de un estado a cualquier otro estado, esa información caracteriza totalmente el proceso estocástico en análisis. Tomemos como ejemplo el caso en que difícilmente la autocorrelación parcial para desfases unitarios es no nula. Las probabilidades de transición entre los estados sucesivos i y j , p_{ij} caracterizan totalmente este proceso, organizadas sobre una matriz constituyen la matriz MTM del proceso.

En el caso de variables discretas que toman un número finito de valores, cada valor puede ser tomado como un estado. En los casos en donde la variable $x(t)$ a modelar es continua, uno puede tomar un número infinito o muy grande de valores discretos, se debe evitar trabajar con un número exagerado de estados y por lo tanto de probabilidades de transición P_{ij} .

En cualquier caso, la gama de valores accesibles es una variable modelada x y dividida por un cierto número m de intervalos (o clases) X_k , $k=1, \dots, m$, cada uno correspondiendo a un estado: $X_k = \{x \in [b_{k-1}, b_k]\}$ donde los valores b son los valores de frontera de las clases ($b_0 = \min(x)$, $b_m = \max(x)$). Las probabilidades P_{ij} de transición del estado X_i al estado X_j , se puede escribir como probabilidad condicionada:

$$P(x(t) \in X_j / x(t-\Delta t) \in X_i) = P_{ij}$$

y la probabilidad de que ocurra cada estado y puede ser obtenida por la siguiente ecuación:

$$P_i = \sum_j P_{ij} P_j$$

Por otro lado, como el sistema ha de transitar siempre por cualquier estado X_j , a partir de un estado inicial X_k , luego

$$\sum_j P_{kj} = 1 \quad \text{con } k \text{ fijo}$$

esto es, los elementos de cada línea de matrices MTM suman hasta la unidad.

Un modelo basado en las ecuaciones presentadas admite que el sistema solo tiene "memoria" de 1 pasos de tiempo, por lo tanto un análogo a MTM es el modelo ARMA(1,0). En caso de probabilidades de transición condicionada en conocimiento de n pasos anteriores, el sistema reconoce los n pasos del tiempo. Puede entonces considerarse un "Tensor de Markov", organizando las probabilidades de transición en $n+1$ dimensiones. Alternativamente al considerar tensores, podemos definir una noción de estado: el estado de un sistema puede definirse como un conjunto de n estados anteriores $\{X_0, X_{-1}, \dots, X_{-(n-1)}\}$ que determinan la evolución de un sistema de X_0 a X_1 , nuevamente es posible construir simplemente una matriz MTM con las probabilidades de transición entre los nuevos estados de este modo definidos.

La identificación del orden n del modelo debe basarse en el estudio de las funciones de autocorrelación parcial de las variables a modelar, determinando cuales son los n coeficientes de autocorrelación (parcial) que son significativos.

Los valores de las probabilidades P_{ij} pueden ser obtenidos del análisis de secuencias observadas de las variables a modelar, una vez pre definidos los estados accesibles del sistema. La determinación del número de estados y de las amplitudes de cada estado (o de las respectivas fronteras $\{b_k\}$) deberá igualmente estar basado en el análisis de las series observadas. En esta ocasión conviene tener presente:

- Que los estados no deben tener amplitudes tan grandes o ser tan pocos que causen demasiada distorsión en las propiedades estadísticas de las series sintéticas a generar con el modelo.
- Los criterios de parsimonia, de modo de mantener en un número aceptablemente bajo los números de los coeficientes del modelo (definidos m estados, una matriz MTM contendrá m^2 coeficientes P_{ij} mas otros m coeficientes b_k , relativos a la descripción de los estados).

La generación de secuencias sintéticas de estados de un sistema a partir de una matriz MTM prosigue de la siguiente forma, a partir del valor inicial $x(t_0)$:

- (1) Determinar el estado i correspondiente a $x(t_0)$ verificando cual es el primer i tal que $x(t_0) < b_i$
- (2) Seleccionar una matriz MTM en la línea i .
- (3) Generar un número aleatorio r entre 0 y 1, con distribución uniforme.
- (4) Determinar el primer valor j tal que $r \leq \sum_{k=1}^j P_{ik}$, $k = 1 \dots j$,

- (5) El nuevo estado de X_j .
- (6) Escoger una gama (b_{j-1}, b_j) en un nuevo valor de $x(t_0 + \Delta t)$.
- (7) Volver al paso (2), actualizando i para j .

El método de selección de un valor x dentro de la gama correspondiente a un estado alcanzado en cada nuevo paso de la cadena de Markov - paso (6) - no es la parte esencial del algoritmo de los modelos MTM. Se dan dos alternativas más simples (y más usadas).

- i) Tomar un valor aleatorio con distribución uniforme dentro del sistema.
- ii) Interpoliar linealmente dentro del sistema, con la ayuda de un valor aleatorio r .

El estado inicial particular a partir del cual un algoritmo es iterado no influye en las probabilidades de ocurrencia de los estados calculados a largo plazo. El argumento es semejante al de los modelos ARMA: como un modelo MTM solo tienen memoria relativa a n estados anteriores, el objetivo de cierto número de iteraciones (en la práctica es del orden de $3n$ a $4n$), la influencia del estado inicial es despreciable en las estadísticas en serie. Nótese aún que contrariamente a lo que sucede con los modelos ARMA, no es necesario, ni siquiera más conveniente, que las series modeladas (o generadas) tengan media nula.

Un modelo MTM permite recuperar exactamente, en principio, las propiedades de primer orden de las series a partir de las cuales fueron calculadas las probabilidades de transición: asimismo, las series sintéticas obedecen a distribuciones de probabilidades que pueden, o no, ser Gaussianas. De hecho, también las propiedades de primer orden están implícitamente representadas en una matriz MTM, a través de:

$$P_i = \sum_j P_{ij} P_j$$

Por su lado, las propiedades estadísticas de segundo orden están establecidas en la propia estructura del modelo: por ejemplo, en sistemas donde la autocorrelación es dominante, las probabilidades P_{ii} de pasaje de un cierto estado, al mismo estado, serían bastante mayores que las probabilidades restantes P_{ij} . Subrayamos que las probabilidades P_{ij} permiten describir con mayor riqueza los efectos de autocorrelación que en los casos de los modelos ARMA.

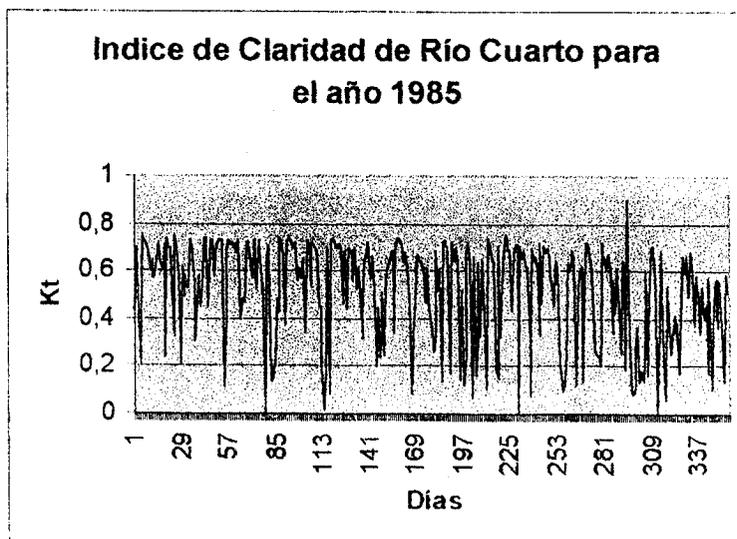
CALCULOS PARA RIO CUARTO

Se toman los valores de radiación de cinco años para Río Cuarto corregidos y presentados en ASADES (Adaro et al. 1995) y se encuentra el índice de claridad k_t para estos valores, previo cálculo de la radiación extraterrestre (Igbal, 1983) mediante la siguiente ecuación:

$$H_0 = (24/\pi) I_{sc} E_0 \sin \phi \sin \delta [(\pi/180) \omega_s - \tan \omega_s]$$

- Donde
- H_0 radiación solar extraterrestre
 - I_{sc} la constante solar
 - E_0 factor de corrección de excentricidad
 - ϕ la latitud del lugar
 - δ declinación solar
 - ω_s ángulo horario de salida de sol

Se presenta en la gráfica los valores de k_t de un año correspondiente a la serie observada y corregida que se indica en el párrafo anterior.



Se calculan los valores medios mensuales de índice de claridad (\bar{k}_t) de los datos disponibles, luego y de acuerdo a estos valores se establecen diez clases o agrupamientos de los meses según su valor de \bar{k}_t . Para cada clase se determina el valor máximo (k_t^{max}) y mínimo (k_t^{min}), y se establece el paso $h = (k_t^{max} - k_t^{min})/10$. De esta manera los 10 estados para cada clase quedan establecidos según los valores máximo y mínimo; y el paso. Se toman los valores de k_t diarios de cada clase y se encuentran las probabilidades de cada estado y se conformando de esta manera la Matriz de Transición de Markov.

Se presenta a continuación la MTM obtenida para la clase 3, con; $k_t^{max} = 0.77$; $k_t^{min} = 0$ y $h=0.07$:

0.54	0	0.083	0.041	0.041	0	0.125	0.041	0.041	0.08
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0	0	0.25	0	0.25	0.25	0	0	0
0	0	0.4	0	0.2	0	0.4	0	0	0
0.22	0	0	0.11	0.44	0.11	0	0.11	0	0
0	0	0	0.5	0	0	0	0	0.5	0
0.375	0	0	0	0.125	0	0.125	0.125	0.125	0.125
0.4	0.1	0	0.1	0.1	0	0	0	0.3	0
0.056	0	0	0	0.11	0	0.056	0.33	0.33	0.11
0	0	0	0	0	0	0	0.11	0.56	0.33

A cada clase le corresponde una Matriz, y al conjunto de matrices resultantes se lo suele llamar biblioteca de Matrices de Markov. Teniendo las matrices de la biblioteca, la generación de secuencias sintética de radiación es la indicada en la metodología.

CONCLUSIONES

Se puede considerar la generación de valores de radiación usando la librería de Matrices de Markov como una estrategia interesante a la luz de que no existen abundantes datos de radiación.

Si bien solo se usaron cinco años de datos de radiación, lo cual a priori se puede considerar un a serie muy corta para la construcción de las matrices, tal conclusión se podrá asegurar al momento de generar un a serie sintética en alguna localidad y compararla estadísticamente con su correspondiente serie observada.

En próximos trabajos se analizarán series sintéticas y generadas, y se comparará este modelo estocástico con otros a los efectos de validar el mismo en la región.

REFERENCIAS

- Adaro, A.; Galimberti, P.; Lema, A.; Barral, J.; Fasulo, A.; (1995); Variables Climáticas de la Región Centro Sur de Córdoba; Asades 1995.
- Aguar, R. (1996); Curso de Estadística de Radiación Solar, Universidad Federal de Pernambuco.
- Aguar, R. e Collares Pereira, M.(1988), Simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of Markov Transition Matrices. Solar Energy Vol 40 N° 3, pp 269-279.
- Gazmuri, P. (1995); Modelos Estocásticos – Ed. Universidad Católica de Chile.
- Igbal, M. (1983); An Introduction to Solar Radiation. De. Academic Press.

INFLUENCIA DEL EVENTO EL NIÑO 1997- 1998 SOBRE LAS INTENSIDADES SOLARES GLOBALES INCIDENTES SOBRE ROSARIO, ARGENTINA

Rubén D. Piacentini

Instituto de Física Rosario (CONICET UNRosario), Fac. Cs. Exactas, Ing. y Agrim. y Observatorio Astronómico de Rosario,
CC 606, Parque Urquiza, 2000 Rosario, Argentina, e-mail: ruben@ifir.ifir.edu.ar.

RESUMEN

Un aumento significativo en la nubosidad en un 29.4% ha sido registrado en el Observatorio de Rosario, Argentina, en el periodo en el cual se desarrolló uno de los eventos "El Niño" más intensos de las últimas décadas (marzo 1997 - junio 1998). Este aumento produjo una reducción en la intensidad global solar promedio de alrededor de un -10.5 %, la cual puede tener una influencia importante en el estudio y diseño de sistemas de captación solar, como así también en el estudio de sistemas biológicos expuestos al medio ambiente exterior y de las componentes espectrales de esta intensidad (UV, visible e IR).

INTRODUCCION

El fenómeno de acoplamiento océano-atmósfera que produce la Oscilación Sur en la región del Pacífico intertropical, tiene su máximo desarrollo durante el evento "El Niño" y su mínimo durante "La Niña" (Glantz, 1996; Liu et al, 1998). Es tan intenso que su efecto se hace sentir en regiones alejadas como la Pampa Húmeda y Mesopotamia argentinas, entre otras, mediante un gran aumento en las precipitaciones.

La Oscilación Sur (Southern Oscillation) consiste en una diferencia significativa de presión atmosférica Este-Oeste en la extensa región del Pacífico tropical, que afecta directamente al clima en grandes extensiones de la superficie terrestre (McPhaden et al, 1998; Neelin et al, 1998; Wallace et al, 1998 y referencias).

El evento "El Niño" fue descubierto y bautizado por pescadores de Perú que detectaron un incremento significativo anormal en varios grados centígrados en ciertos diciembre (de allí el nombre por la cercanía con la Navidad) de la temperatura media del agua de mar (variable caracterizada en inglés con las siglas SST por Sea Surface Temperature). Estudios paleoclimáticos indican que muy posiblemente este fenómeno se viene desarrollando desde la remota antigüedad (Compagnucci, 1998 y Barros, 1998. Comunicación privada). Del mismo modo que a la anomalía positiva se la ha dado en llamar "El Niño", a la negativa (enfriamiento) se la ha designado "La Niña".

Con el fin de caracterizar estos fenómenos y de relacionarlos con la Oscilación Sur, ya que las oscilaciones ocurren en conjunción, se ha introducido el "Índice ENSO multivariado" (la sigla ENSO proviene de Southern Oscillation-El Niño y al índice se lo indica con MEI, en inglés Multivariate ENSO Index). Este índice se basa en las principales variables geofísicas medidas en el Pacífico tropical. Es un promedio pesado de las seis siguientes: presión a nivel del mar, componentes Este-Oeste y Norte-Sur del viento superficial, temperaturas del mar (SST) y del aire y cubierta de nubes. Se miden a través de barcos y boyas y el Índice ENSO es generado en el Climate Diagnostic Center del CIRES/NOAA y la Universidad de Colorado en Boulder, EUA. Puede consultarse en la página WEB de internet:

http://www.cdc.noaa.gov/ENSO/enso.mei_index.html

Desde 1950 al presente se han producido más de una decena de eventos "El Niño", siete de los cuales que superan el valor 1 del Índice y por consiguiente se consideran "fuertes", se han registrado en los años 1957/58, 1965/66, 1972/73, 1982/83, 1986/87, 1991/92 y 1997/98. Los tres primeros mostraron un calentamiento temprano de las costas tropicales del Pacífico Este y llegaron a sus valores picos antes de concluir el primer año y los tres más recientes se extendieron más en el tiempo, llegando a sus máximos valores hacia la primavera del hemisferio norte (otoño del hemisferio sur). El más intenso fue el del periodo 1982/83 con un valor del Índice de 3.2 y el más reciente de 1997/98 fue muy similar, con dos máximos de alrededor de 2.8, uno en julio/agosto de 1997 y otro en febrero/marzo de 1998, tal como se observa en la Figura 1. En dicha figura puede verse también que los valores positivos del Índice (evento "El Niño") se dan entre marzo de 1997 y junio de 1998, por lo que en el ítem siguiente se considerará este lapso de tiempo de 16 meses para la realizar las comparaciones en la nubosidad e intensidad de radiación solar. Otros trabajos sobre radiación solar global y temas afines pueden consultarse en actas de asades de los años 1995, 1996 y 1997.

MEDICIONES

Desde 1995 hasta el presente, se viene realizando en el Observatorio Astronómico de Rosario (32° 57'S; 60° 44'W, 20 m s.n.m.), mediciones de diferentes variables geofísicas. En particular, las intensidades solares globales alrededor del máximo en momentos cercanos al mediodía solar y la nubosidad correspondiente. Esta última cantidad se incrementó en un 29.4%, en el

periodo marzo 1997-junio 1998 respecto del periodo similar de marzo 1995-junio 1996, tal como se observa en la Figura 2. Este aumento determinó una variación del -10.5% (reducción) en las intensidades solares globales, que está muy por encima de los errores de medición por instrumento (de sólo algunos porcentos) o de eventuales modificaciones en la composición atmosférica, por ejemplo, por aumento en la cantidad de aerosoles en suspensión, ya que esto se habría detectado en forma visual o con otros instrumentos que se encuentran en operación midiendo intensidades ultravioletas y que son más sensibles a la cantidad de aerosoles atmosféricos.

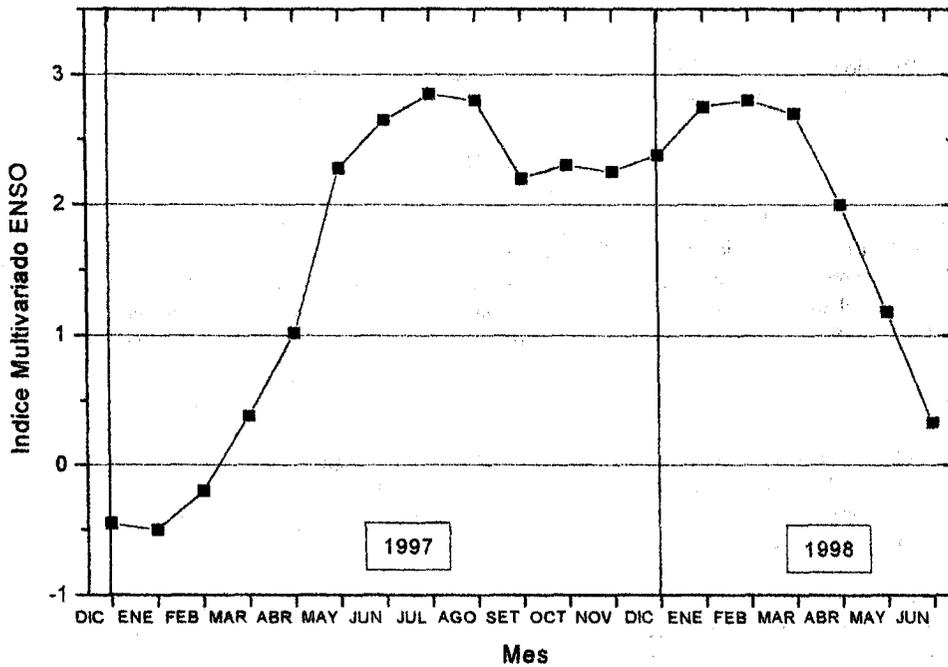


Figura 1: Representación del efecto Oscilación Sur-El Niño a través del Índice Multivariado ENSO para el último evento de 1997-1998

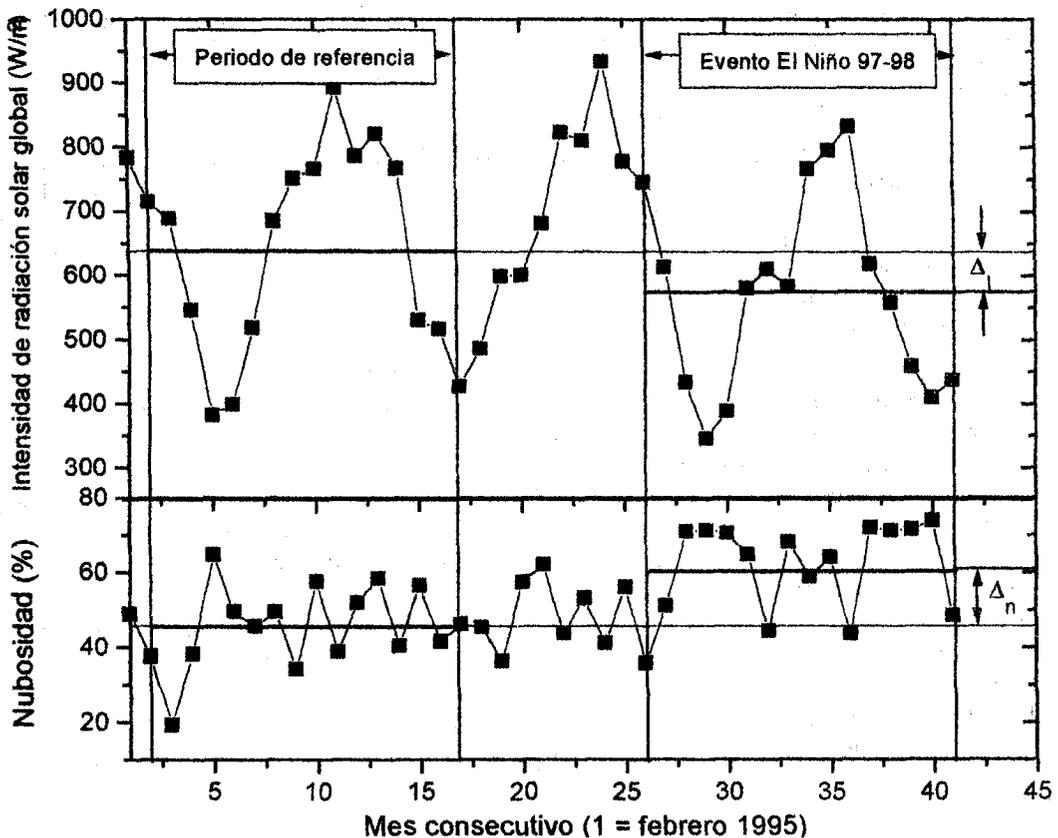


Figura 2: Variación temporal de la nubosidad (gráfica inferior) y de los promedios mensuales de la intensidad de radiación global alrededor del mediodía solar (gráfica superior) medidas en el Observatorio Astronómico de Rosario entre febrero de 1995 y junio de 1998.

Se observa un significativo aumento de la nubosidad ($\Delta_n = 29.4\%$), en relación directa con el evento El Niño (marzo 1997 a junio 1998) y una disminución correlativa de la intensidad solar global ($\Delta_I = -10.5\%$)

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Los resultados obtenidos muestran que el último evento "El Niño" 1997/98. que tuvo gran influencia en la regiones Pampa Húmeda y Mesopotamia argentinas, por el exceso de precipitaciones (Barros, 1998. Comunicación privada) e inundaciones en la cuenca del Paraná, produjo una reducción importante en las irradiancias solares globales. Esta reducción debería ser tenida en cuenta en el estudio y diseño de captación solar, ya que al emplearse promedios obtenidos en un número limitado de años pueden sobreestimarse los aportes de energía solar y consecuentemente sub-dimensionarse los captadores, si se desea que los sistemas funcionen adecuadamente, aún en periodos con eventos "El Niño" intensos. También resulta de importancia determinar su influencia sobre los sistemas biológicos expuestos al medio ambiente exterior.

Dado que estos eventos intensos se han dado con un intervalo promedio entre si de 6.6 años en las últimas décadas, también debería tenerse en cuenta en el estudio de tendencias relacionadas con el Cambio Climático global. En el futuro se extenderán los estudios a otros eventos "El Niño" y "La Niña" anteriores y se analizará la dependencia con otras variables geofísicas y biológicas, como las irradiancias solares ultravioletas y dosis eritémicas solares.

AGRADECIMIENTOS

El fructífero intercambio de ideas con la Lic. Rosa Compagnucci y el Dr. Vicente Barros del Depto. Meteorología, Fac. Cs. Exactas y Naturales/UBA es particularmente agradecido, así como la colaboración técnica de José Pomar y el apoyo computacional de Pablo García.

REFERENCIAS

- Glantz, M.H. "Currents of change: El Niño impact on climate and society". Cambridge University Press (1996).
- Liu W.T., Tang W. y Hu H. "Spaceborne sensors observe El Niño's effects on ocean and atmosphere in North Pacific". EOS Transactions, 79 249 (1998).
- McPhaden M. J., Busalacchi A. J., Cheney R., Donguy J. R., Gage K. S., Halpern D., Ji M., Julian P., Meyers G., Mitchum G. T., Niiler P. P., Picaut J., Reynolds R. W., Smith N. y Takeuchi K. "The tropical ocean-global atmosphere observing system: A decade of progress". Journal Geophysical Research, 103 14169-14240 (1998).
- Neelin J.D., Battisti D. S., Hirst, A. C., Jin F. F., Wakata, Y., Yamagata, T., Zebiak, S. E. "ENSO theory". Journal Geophysical Research, 103 14261-90 (1998).
- Wallace, J. M., Rasmusson, E. M., Mitchell T. P., Kousky V. E., Sarachik, E. S. "On the structure and evolution of ENSO-related climate variability in the tropical Pacific: Lessons from TOGA". Journal Geophysical Research, 103 14241-59 (1998).
- Compagnucci R. Comunicación personal
- Barros V. Comunicación personal