

EXPERIENCIAS DE ENSEÑANZA DE ENERGÍAS RENOVABLES EN CURSOS DE GRADO EN INGENIERÍA: USO DE EQUIPAMIENTO Y ADAPTACIÓN AL CONTEXTO DE VIRTUALIDAD

Patricio Triñanes⁽¹⁾, Jorge Lescano⁽¹⁾, Néstor Cortez⁽¹⁾, Rafael Oliva⁽¹⁾, José F. González⁽²⁾,
Sergio Cabrera⁽²⁾, Néstor Garzón⁽²⁾

Area Energías Alternativas (AEA)

Universidad Nacional de la Patagonia Austral – Instituto de Tecnología Aplicada

Unidad Académica Río Gallegos⁽¹⁾, Unidad Académica San Julián⁽²⁾

<https://www.energiasalternativas-unpa.net> (54) (2966) 438151 / 442238.

E mail ptrinanes@uarg.unpa.edu.ar

RESUMEN: Se exponen algunos resultados de experiencias realizadas con equipos didácticos para enseñanza de energías renovables en cursos de grado para ingenierías Química (IQ), Recursos Naturales (IRN) y Tecnicatura Superior en Energía (TSE); para Unidades Académicas de Río Gallegos y San Julián, tanto en Unidad Académica San Julián como en SILOSE (CPE-Río Gallegos) y en Sistema Invernadero UNPA-UARG en los últimos cinco años. Se describe asimismo el contexto reciente de uso y adaptación a la modalidad virtual de dictado a través de la plataforma Unpabimodal (basada en Moodle) y la utilización de paquetes de software con licencia académica (Homer Pro y Windographer).

Palabras clave: Energía renovable. Educación. Virtualidad. Equipos didácticos

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de materias con alto contenido tecnológico y vinculación con diversas ramas de la física y la matemática tiene un necesario componente práctico para los cursos de grado y posgrado que suele ser problemático de implementar, sobre todo para regiones en vías de desarrollo en que el costo de los equipos se hace muchas veces prohibitivo aún para las instituciones de educación superior. El presente trabajo describe un caso en que ha sido posible llevar adelante las experiencias con estudiantes a través de una combinación de equipos recibidos en donación y por convenio con instituciones extranjeras, la utilización de equipamiento de otras instituciones y también sistemas de desarrollo propio de los grupos de investigación involucrados.

La primera parte describe la puesta en marcha y las prácticas realizadas entre 2016 y 2018 utilizando los equipos didácticos EDIBON (Edibon, 2021) de Energías Renovables, en las instalaciones del Laboratorio de Energías Renovables instalado en la Chacra UASJ-UNPA. Los citados equipos fueron donados por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM, 2021) a la Unidad Académica San Julián (Convenios UNPA, 2010),(Argentina Investiga, 2009), en el marco de un programa de la AECID (AECID, 2021). Por problemas aduaneros existió una significativa demora hasta que los equipos pudieron ser liberados y trasladados al Laboratorio en San Julián. Dichos equipos están diseñados para que los estudiantes de ingeniería puedan acceder a los conocimientos asociados a las energías renovables de una forma didáctica y práctica. Los primeros ensayos y preparación de las prácticas de laboratorio a con alumnos se muestran aquí tomando como referencia informes realizados a inicios de 2017.

El desarrollo de las prácticas, debido a que el mayor número de alumnos de la materia Optativa Energías Renovables (de Ingeniería Química e Ingeniería en Recursos Naturales) provienen de la

Unidad Académica Río Gallegos, requirió el traslado de delegaciones utilizando el transporte propio de la Universidad y el alojamiento en la localidad de Puerto San Julián, distante 350 km de Río Gallegos. Los alumnos de la Tecnicatura Superior en Energía provenían de la Unidad Académica San Julián donde se encontraban los equipos instalados. Las prácticas se realizaron en el mes de noviembre, hacia finales de los cursos por lo cual incluyeron guías específicas para las temáticas de energía solar térmica, energía solar fotovoltaica y energía eólica. Se aprovechó asimismo para realizar una demostración de funcionamiento del sistema de energía renovable con un aerogenerador de 1 kW, paneles fotovoltaicos, baterías, inversor y sistema de registro de parámetros eléctricos y ambientales que se encuentra instalado en dicho predio desde 2014 (González y otros, 2016). Se describe además en detalle la práctica realizada con el equipo EDIBON Mini EESTC de Energía Solar Térmica.

La segunda parte describe las prácticas realizadas en las instalaciones del Laboratorio SILOSE/INET en la Escuela Industrial N° 4 (CPE-Santa Cruz) en Río Gallegos (Industrial4, 2021), y en el predio del Campus UNPA/UARG en Río Gallegos, sobre un sistema demostrativo similar al descrito de la Unidad Académica San Julián.

Por último, se muestra la necesaria adaptación a la virtualidad completa durante 2020 utilizando las plataformas Unpabimodal formalizada hace dos décadas (Unpabimodal,2000) basada en (Moodle, 2021) y, y Google para Educación, y además las licencias educativas de los paquetes de software Homer Pro (HomerPro, 2020) de simulación para energías renovables (adquiridas en 2017 y renovadas en 2020) y de Windographer Pro (Windographer, 2020) para tratamiento de datos de viento (renovadas en 2019 y 2020).

PREPARACION Y PUESTA EN MARCHA DE LOS EQUIPOS DIDÁCTICOS

Como se describió en la parte introductoria, los equipos didácticos para energías renovables Edibon donados requirieron un proceso de puesta en marcha que se fue realizando por etapas. Estas fueron realizadas entre fines de 2016 e inicios de 2017, y consistieron en la preparación e instalación de las tarjetas de interfaz National Instruments (NI, 2020) en PCs locales, instalación de los drivers y programas, verificación de funcionamiento y suministro eléctrico adecuado.

Equipo Didáctico de Energía Solar Térmica: Se puso en marcha el equipo Edibon – MINI-EEST (versión actual en (Edibon-EESTC, 2021)) para enseñanza de energía solar térmica (Figura 1), que como se observa es un sistema que transforma la energía solar en energía térmica útil. El mismo puede utilizar el sistema de circulación por termosifón para el calentamiento de agua, o el sistema tradicional de bombeo. En ambos casos, la energía térmica absorbida es dada por la radiación solar simulada; en el equipo provisto esto se realiza a través de un panel con dos lámparas de 300 watts cada una. El equipo está formado principalmente por los siguientes elementos:

- o Colector solar térmico
- o Depósito acumulador
- o Simulador solar
- o Sistema de bombeo

El colector solar está montado en una estructura de aluminio y el fluido (agua desmineralizada) circula a través de tubos de cobre. Ha sido desarrollado de tal manera que la geometría de la superficie permite una absorción con la máxima eficiencia. El depósito acumulador está protegido con un material anticorrosivo. Las lámparas del simulador solar emiten una radiación similar a la del sol y permite realizar una serie de prácticas en el laboratorio. La luz se transforma en calor en el colector solar y se transmite al líquido portador de calor. El equipo está equipado con sensores y medidores para registrar los parámetros relevantes (temperatura y caudal) e incluye válvulas de seguridad de sobrepresiones.

El equipo funciona a través de una interfaz con PC, vía una placa SCSI de National Instruments (NI-SCSI board PXI), un módulo de interfaz de Edibon y un programa convencional de Windows de la misma

empresa. Se debió recurrir por compatibilidad de los drivers a una máquina de fabricación 2011 con Windows XP para lograr que el sistema funcione adecuadamente.

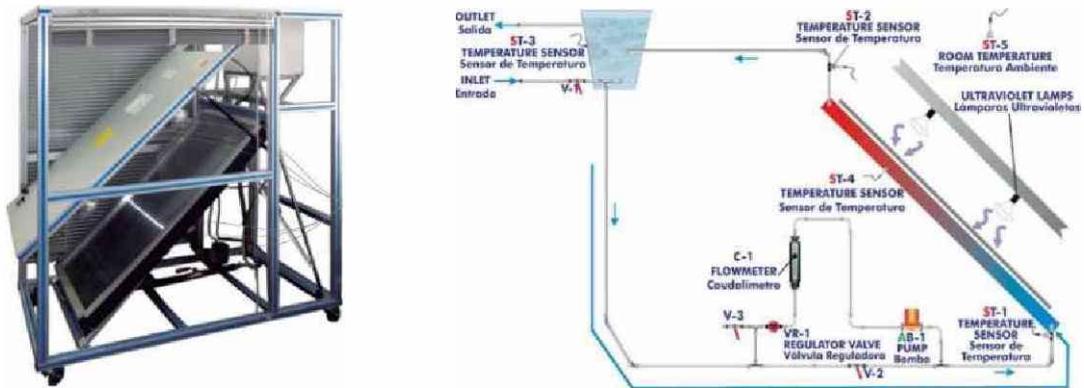


Figura 1: Diagrama del equipo MiniEESTC (derecha) y foto del mismo (izquierda)

Se realizó un primer ensayo del equipo, en primer lugar con conexión a una PC a través de la placa SCSI, bajo Windows XP y luego con incorporación de agua destilada (Figura 2).



Figura 2: Ensayos iniciales del equipo MiniEESTC (arriba) y Tablero operativo (abajo)

Equipo Didáctico de Energía Solar Fotovoltaica: El Equipo didáctico de Energía Solar Fotovoltaica Edibon – MINI-EESFB (versión actual en {Edibon-EESFB, 2021}) incluye el equipamiento que utiliza la

ley de la foto-conversión, transformando directamente la radiación solar en energía eléctrica. La energía absorbida se proporciona mediante radiación solar simulada, que en los equipos provistos es suministrada mediante un panel con una fuente de luz muy potente (lámparas solares). Este equipo está compuesto por:

- Paneles solares fotovoltaicos
- Simulador solar compuesto de lámparas solares
- Sistema de ventilación
- Regulador para cargas CC y batería
- Cargador auxiliar de batería
- Batería
- Módulo de cargas de CC
- Sensores (temperatura, radiación solar, corriente CC y voltaje CC)
- Consola electrónica.



Figura 3: Ensayos iniciales del equipo MiniEESFB (arriba) y Tablero operativo (abajo)

Equipo didáctico de Energía Eólica: El equipo de Energía Eólica MINI-EEE/EEEC es un equipo, a pequeña escala (versión actual en (Edibon-EEEC, 2021)) diseñado para estudiar la energía eólica y la influencia de algunos factores en su generación. El equipo consta básicamente de:

- Ventilador axial con velocidad variable
- Aerogenerador con rotor para ubicar hasta seis palas
- Conjunto de seis palas para el aerogenerador

- Túnel transparente
- Anemómetro
- Sensor de velocidad de giro del aerogenerador
- Sensor de voltaje y corriente

Es posible conocer, en tiempo real, el valor de la tensión y de la corriente dados por el aerogenerador. Conociendo tanto la corriente como el voltaje, la potencia se define por completo. Se mide la velocidad de giro del aerogenerador (r.p.m.). Al igual que el equipo Solar Térmico, este equipo funciona a través de una interfaz con PC, vía una placa SCSI de National Instruments similar a la del EESTC, un módulo electrónico y un programa convencional de Windows de la misma empresa. Se ensayó inicialmente su funcionamiento con la interfaz y lectura de datos vía PC (Figura 4).



Figura 4: Ensayos iniciales del equipo e interfaz MINI-EEE/EEEC (arriba) y vista en operación (abajo)

DESARROLLO DE PRÁCTICAS CON LOS EQUIPOS DIDÁCTICOS EN SAN JULIÁN

Una vez que los equipos funcionaron satisfactoriamente, se debieron coordinar hacia finales de la cursada, con la mayoría de los conceptos ya estudiados por los alumnos, viajes a la Unidad Académica San Julián de la UNPA. Como se indicó en la introducción, debido a que el mayor número de alumnos de la materia Optativa Energías Renovables (de Ingeniería Química e Ingeniería en Recursos Naturales) provienen de la Unidad Académica Río Gallegos, fue necesario el traslado de delegaciones utilizando el transporte propio de la Universidad y el alojamiento en la localidad de Puerto San Julián, salvo para los alumnos de la Tecnicatura Superior en Energía.

Prácticas con Energía Solar Fotovoltaica: En la Figura 5 se observa una de las prácticas con el equipo de Energía Solar Fotovoltaica, que se realiza con el equipo indicado sobre un panel fotovoltaico de

66W proporcionado por el fabricante.

Se busca en una secuencia de 3 trabajos prácticos separados que los alumnos logren:

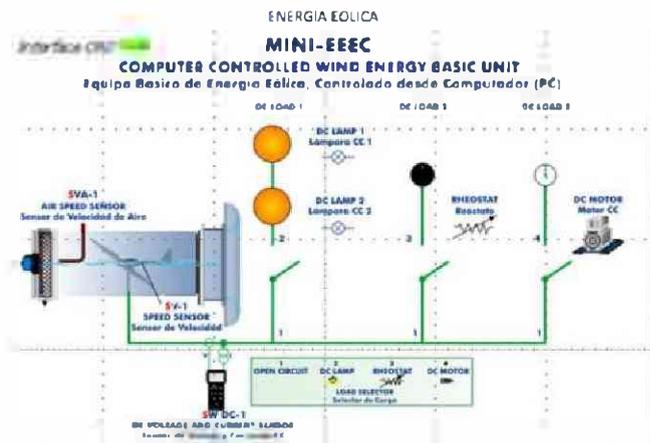
- 1) comprobar y entender el funcionamiento de los paneles solares determinando la curva I-V, los parámetros de intensidad de cortocircuito (I_{sc}) y tensión de circuito abierto (V_{oc}) y la máxima potencia (P_{max}).
- 2) estudiar el rendimiento de los paneles solares, conforme a la radiación solar, cuando alimentan una carga constante que no coincide con el punto de máxima potencia (P_{max}).
- 3) obtener el punto de máximo rendimiento o P_{max} de los paneles solares con diferentes niveles de radiación solar.



Figura 5: Práctica con la cohorte 2017 de la materia Energías Renovables con el equipo MINI-EESFB

Prácticas con equipo de Energía Eólica: Para las prácticas de eólica, se aprovecha la disponibilidad del equipo MINI-EEC que consiste de un túnel transparente, un aerogenerador con rotor para ubicar hasta seis palas y un ventilador axial con velocidad variable. La velocidad del aire se varía mediante el cambio de la velocidad rotacional del ventilador axial y un sensor permite medir dicha velocidad del aire. El ventilador genera el caudal de aire requerido para que funcione el rotor del equipo de energía eólica. El generador convierte la energía cinética del rotor en energía eléctrica. Mediante un sensor se puede medir la velocidad rotacional del aerogenerador. El equipo incluye además un módulo de cargas de CC que contiene Leds, un reóstato, un motor de CC, un selector de cargas e interruptores para seleccionar el tipo de carga. Esto permite la posibilidad de trabajo con el aerogenerador en circuito abierto o conectado a LEDS, a un reóstato o a un motor CC. Un sensor de voltaje y corriente permite medir la tensión y la corriente dadas por el aerogenerador para determinar la potencia. En la Figura 6 se observa una de las prácticas con el equipo de Energía Eólica, la pantalla de la interfaz y una captura de datos.





Time (s)	I_DC	V_DC	SVA-1	AVE-1
0,000	43,342	3,564	0,613	0,000
1,000	43,448	3,557	0,737	0,000
2,000	42,786	3,533	0,678	0,000
3,000	42,426	3,514	0,665	0,000
4,000	42,144	3,496	0,940	0,000
5,000	42,411	3,509	1,264	0,000
6,000	42,413	3,513	0,830	0,000
7,000	42,694	3,531	0,745	0,000
8,000	43,057	3,540	0,835	0,000
9,000	43,345	3,550	1,089	0,000
10,000	43,173	3,540	0,576	0,000
11,000	43,425	3,554	0,735	0,000
12,000	42,985	3,543	0,631	0,000
13,000	43,359	3,552	0,838	0,000
14,000	43,561	3,563	0,709	0,000
15,000	43,266	3,557	1,223	0,000
16,000	43,485	3,566	0,913	0,000
17,000	43,299	3,561	0,000	0,000
18,000	43,951	3,579	0,619	0,000
19,000	43,691	3,576	0,832	0,000
20,000	43,731	3,568	0,733	0,000
21,000	43,547	3,567	0,639	0,000
22,000	43,744	3,576	0,984	0,000
23,000	43,026	3,575	0,756	0,000

Figura 6: Práctica con la cohorte 2017 de la materia Energías Renovables con el equipo MINI-EEC (arriba) y vista de la pantalla y captura de datos (abajo)

Prácticas con Energía Solar Térmica: La práctica con el equipo de Energía Solar Térmica se desarrolla con mayor nivel de detalle para ilustrar el trabajo que deben realizar los alumnos para este caso particular. El mismo se denomina Cálculo del Rendimiento de un Colector Solar Térmico (Figura 7). En primer lugar, se les describe a los alumnos las características del equipo EDIBON MiniEESTC (Figura 2) que consta de:

- Panel solar térmico,
- Depósito de agua,
- Simulador solar,
- Lámparas,
- Bomba eléctrica,
- Sensores de temperatura (5),
- Sensor de caudal,
- Grupo de válvulas para trabajar por bombeo o por termosifón.

El panel solar está construido con policarbonato. Está realizado en perfil de aluminio con circulación de fluido caloportador en cobre. El depósito posee una capacidad de 30 litros. El espectro de radiación de las dos lámparas especiales de 300 W de potencia es similar al del Sol.

El equipo puede funcionar en dos modos:

- Por termosifón: el fluido caloportador se mueve por convección.
- Por un sistema de bombeo utilizando la bomba eléctrica.

Los sensores de temperatura ST1, ST2, ST3, ST4 y ST5 permiten conocer la temperatura en diferentes puntos del sistema (Figura 7, abajo). Las dimensiones del panel solar térmico son 1100 mm X 660 mm. Para poder determinar la energía que incide sobre el panel solar térmico es necesario un medidor de potencia lumínica. A falta de la instrumentación adecuada, se utilizó una aplicación Android que sirvió para tales efectos, en esa oportunidad se utilizó Light Meter de Trajkovski Labs.

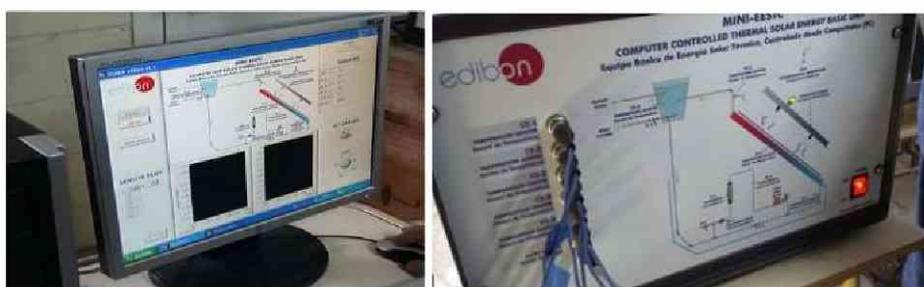


Figura 7: Práctica con la cohorte 2017 de la materia Energías Renovables con el equipo MINI-EEST (arriba) y vista de la pantalla y panel de control (abajo)

El detalle de las actividades realizadas por los alumnos se resume en la siguiente secuencia:

- a. Usando el sensor de intensidad lumínica, se realizaron mediciones en diferentes partes del panel solar, a la altura de su superficie.
- b. Se calculó la superficie del panel solar térmico.
- c. Se calculó el flujo luminoso multiplicando la intensidad lumínica por la superficie del panel.
- d. Se calculó la potencia lumínica (watts) recibida por la superficie del colector.
- e. Se calculó la energía recibida por la superficie del colector en el intervalo de tiempo determinado por la consigna de la actividad.



Figura 8: Práctica con la cohorte 2017 : equipo EESTC en funcionamiento (izquierda), y aplicativo LightMeter para Android (derecha)

- f. Se calculó la cantidad de energía absorbida por el agua en ese intervalo de tiempo. Para ello fue necesario conocer las temperaturas de entrada y salida del agua del sistema y el caudal de trabajo.

Para calcular la energía transferida al agua del circuito y depósito, se utilizó la expresión:

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T \quad (1)$$

donde

Q es la cantidad de calor absorbida por el agua del sistema en calorías,

m es la masa de agua del sistema en kilogramos,

C es la capacidad calorífica del agua cuyo valor es de $1000 \frac{\text{cal}}{\text{C Kg}}$

ΔT es la diferencia de temperaturas de entrada y salida en grados C

- g. Se calculó el rendimiento del colector solar térmico. El rendimiento (η) viene dado por la relación entre la energía obtenida por el agua y la suministrada por el equipo.

$$\eta = \frac{\text{Energía absorbida}}{\text{Energía suministrada}} \times 100 \quad (2)$$

Cabe aclarar que se tuvo en cuenta que no toda la energía eléctrica se transforma en energía luminosa, hay un factor de rendimiento. Por otra parte, no toda la energía luminosa se aplica al panel solar ya que hay pérdidas en los alrededores.

PRACTICAS CON EQUIPOS DIDÁCTICOS EN LABORATORIO SILOSE/INET ESCUELA INDUSTRIAL Nº 4 (CPE-SANTA CRUZ) EN RÍO GALLEGOS, Y EN EL PREDIO DEL CAMPUS UNPA/UARG

Prácticas SILOSE: Durante 2018 y 2019 se realizaron en el mismo mes de noviembre, hacia finales de los cursos prácticas con nuevos equipos didácticos INSUR de energía solar fotovoltaica y simulación de equipos aerocargadores de batería (Figura 9) provistos por el INET, en las instalaciones del LABORATORIO SILOSE/INET de la Escuela Industrial Nº 4 en Río Gallegos a cargo del Ing. Nestor Cortez, en convenio con el Concejo Provincial de Educación (Figura 10).

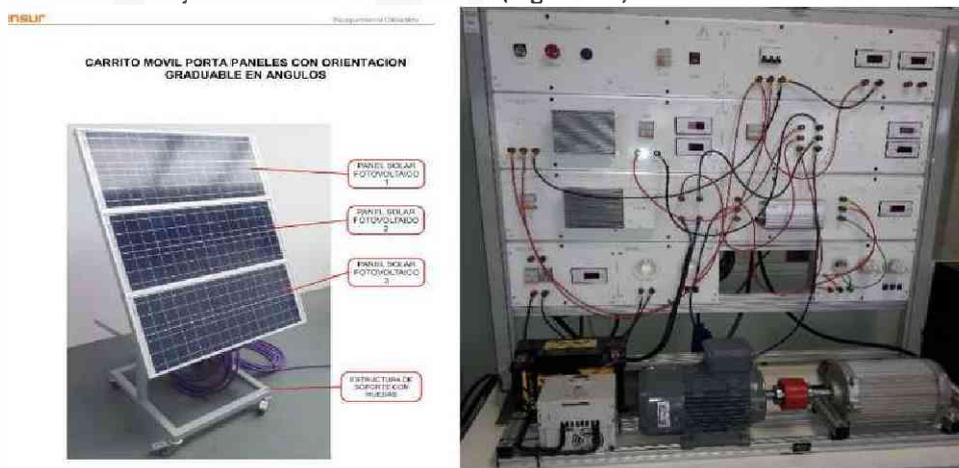


Figura 9: Simulador de Energía Solar Fotovoltaica (izq) y Simulador eólico con variador, motor y generador



Figura 10: Prácticas con equipos INSUR cohorte 2019 de Materia Energías Renovables

Prácticas en Campus – Sistema Demostrativo UNPA-UARG: Se realizaron con la cohorte 2019 prácticas en el sistema demostrativo del Campus UNPA-UARG como se muestra en la Figura 11



Figura 11: Prácticas en Sistema demostrativo Campus UARG con cohorte 2019 (izq) de Materia Energías Renovables, y vista del sistema inversor/regulador (der)

TRANSICIÓN A LA VIRTUALIDAD EN 2020 – UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA UNPABIMODAL Y OTROS AUXILIARES DE SOFTWARE

Durante el año 2020 fue necesario adaptar la modalidad de cursada tradicional de la materia Energías Renovables al nuevo contexto debido a la pandemia y la imposibilidad de los encuentros presenciales. Esto hizo que los docentes debieran recurrir al dictado utilizando la plataforma Unpabimodal (Unpabimodal, 2000) como se muestra en la Figura 12, y a las herramientas Google para Educación, que permiten la grabación de las clases sincrónicas realizadas en Meet en el GDrive de cada docente.

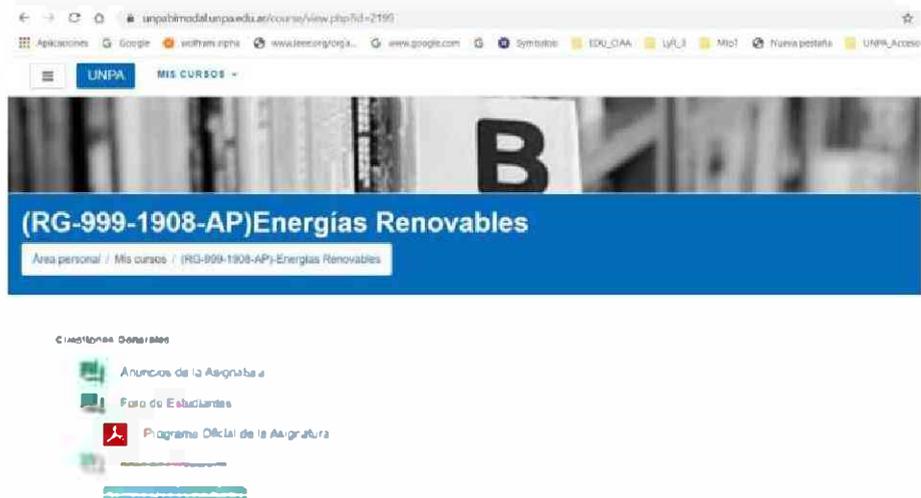


Figura 12: Plataforma Unpabimodal y parte inicial de la materia Optativa Energías Renovables

Las presentaciones y el material de consulta se actualizaban semana a semana, para las tres partes fundamentales de la materia (eólica, fotovoltaica y solar térmica) incorporando las tareas que cada alumno debía subir en un plazo determinado. Asimismo se proporcionaban los links a las grabaciones de las clases en Meet (Figura 13). Aunque la mayor parte de los cálculos se realiza con planillas tradicionales Excel o similar, se actualizaron las licencias académicas de Homer Pro (10 licencias) (HomerPro, 2020) para la realización de las prácticas de simulación de sistemas eólico-fotovoltaicos híbridos, y una única licencia del software Windographer Pro (Windographer, 2020) para demostrar su uso durante una clase virtual.

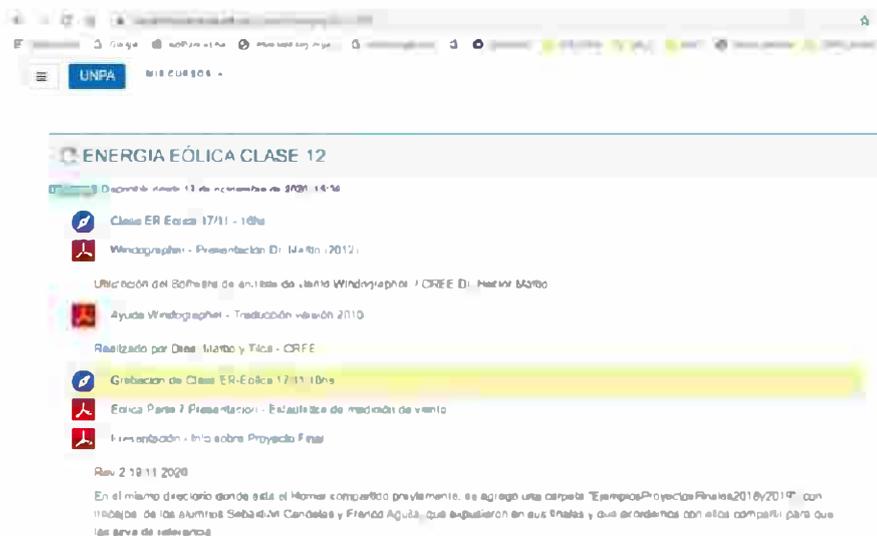


Figura 13: Vista de una de las clases en Plataforma Unpabimodal de la materia Optativa Energías Renovables

CONCLUSIONES

Se ha podido mostrar la utilización de equipamiento didáctico específico para Energías Renovables y los desafíos que se presentan en la enseñanza de materias de grado de ingeniería en esta temática, en cuanto a la incorporación de experiencias y mediciones que resulten un efectivo refuerzo de la teoría aprendida. En este trabajo se mostraron las necesidades de articulación entre instituciones y grupos para llevar adelante tales experiencias, específicamente para los casos de carreras de ingeniería o tecnicatura superior dictadas en las Unidades Académicas de Río Gallegos y San Julián de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral en los últimos cinco años, como así también los recientes

desafíos y soluciones de adaptación que se implementaron a partir del contexto de pandemia a partir de 2020.

REFERENCIAS:

- Edibon (2021) EDIBON Equipos Didácticos <https://www.edibon.com/es/>
- UPM (2021) Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Minas y Energía <https://www.upm.es/UPM/Centros/CentrosMadrid/ETSI Minas Energía>
- Convenios UNPA (2010) <https://www.unpa.edu.ar/contenido/convenios-internacionales>
- Argentina Investiga (2009) http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=alumnos_de_la_unpa_podran_obtener_doble_titulacion_en_espana&id=366
- AECID (2021) Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo <https://www.aecid.es/ES>
- Unpabimodal (2000) <https://www.unpa.edu.ar/contenido/educacion-distancia>
- Moodle (2021) <https://moodle.org/?lang=es>
- HomerPro (2020) Homer Pro - <https://www.homerenergy.com/>
- Windographer (2020) <https://www.ul.com/resources/apps/windographer>
- Industrial4 (2021) Escuela Técnica Nº 4 Río Gallegos – Santa Cruz <https://industrial-4-rg.tecnicasantacruz.edu.ar/login/index.php>
- Gonzalez J , Oliva R, Cárdenas G, Cortez N (2016) Mediciones de intensidad y dirección de viento en dos emplazamientos de Puerto San Julian, Acta de la XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 4, pp. 06.127-06.138, 2016 ISBN 978-987-29873-0-5
- NI-SCSI board PXI (2021) <https://www.ni.com/pdf/manuals/321851c.pdf>
- Edibon-EESTC(2021) <https://www.edibon.com/es/equipo-de-energia-solar-termica-controlado-desde-computador-pc>
- Edibon, EESFB, (2021) <https://www.edibon.com/es/equipo-modular-de-energia-solar-fotovoltaica-version-completa>
- Edibon Mini EEEEC, (2021) <https://www.edibon.com/es/equipo-basico-de-energia-eolica>

ABSTRACT: Results of local experiences performed with didactical training equipment for Renewable Energy undergraduate courses in Chemical Engineering (IQ), Natural Resources Engineering (IRN) and Advanced Energy Technician (TSE), for the academic units of Río Gallegos and San Julián of Universidad Nacional de la Patagonia Austral, in both locations and in a period of five years are shown in this work. The use of virtual platforms was implemented in full during 2020 due to the pandemic and isolation issues, so the use of Unpabimodal (a Moodle-based platform) and Google for Education became mandatory. Specific academic packages for simulation programs such as Homer Pro and Windographer were also deployed.

Keywords: Education, Didactical equipment, Renewable Energy, Virtual platforms