

**JULIO 1973**

# **G E O A C T A**

**VOLUMEN 6**

**NUMERO 2**

*publicado por*

**ASOCIACION ARGENTINA DE GEOFISICOS Y GEODESTAS**

**JULIO 1973**

**G E O A C T A**

**VOLUMEN 6**

*publicado por*

**ASOCIACION ARGENTINA DE GEOFISICOS Y GEODESTAS**

Precio del Ejemplar \$ 15.--

Número de Inscripción en el Registro de la Propiedad Intelectual 1.186.616.

## **COMISION DIRECTIVA**

### *Presidente*

Ing. Fernando Vila

### *Vicepresidente*

Ing. Rodolfo Martín

### *Secretario*

Lic. Eduardo García

### *Tesorero*

Ing. Leopoldo Rodríguez

### *Vocales*

Dra. Estrella M. de Mathov

Ing. Antonio Introcaso

Ing. Rafael N. Sánchez

Ing. Hugo M. Posse

### *Vocales Suplentes*

Ing. Daniel Valencio

Ing. Alberto Suárez Linch

Lic. Juan Francisco Vilas

Cap. de Fragata (R) Luis María de la Canal

## **SUBCOMISION DE PUBLICACIONES**

### *Presidente*

Ing. Rodolfo Martín

### *Miembros*

Sismología y Física del interior de la Tierra

Ing. Simón Gershanik

Geomagnetismo y Aeronomía

Dr. Otto Schneider

Geodesia

Ing. Federico Mayer

Metereología, Hidrología y Oceanografía

Dr. José A. J. Hofmann

Geofísica Aplicada

Ing. Juvenal Llorden

Como en el primer número del Volumen 6 de GEOACTA, en este segundo número se incluyen trabajos presentados en la Sexta Reunión de la Asociación efectuada en Mendoza, en 1971.

Cabe mencionar que la Comisión Directiva pretende que la publicación de las contribuciones aceptadas para su presentación en las reuniones bienales de la Asociación, se concrete durante el período inter-reunión siguiente. Lamentablemente, este objetivo no se ha logrado con el Volumen 6, a pesar del empeño puesto en agilizar su impresión.

Dos han sido las principales causas determinantes de la demora producida: el atraso con que muchos autores entregaron las versiones completas, definitivas, de sus escritos; y la diversidad de criterios empleados en su presentación, con el consiguiente recargo de tareas para la Subcomisión de Publicaciones y Dirección de GEOACTA.

Es probable que el atraso en la entrega del material, y en algunos casos la renuncia a la publicación del trabajo, se deba a la falta de estímulo resultante de la demora con que aparece GEOACTA. Si así fuere, estaríamos ante un círculo vicioso.

Siendo uno de los propósitos de la Asociación contribuir al desarrollo científico del país, debemos todos empeñarnos en romper ese círculo. Por nuestro lado prevemos incluir, en el próximo número, algunos de los trabajos presentados a la Séptima Reunión recientemente celebrada en Bariloche, seleccionados entre los recibidos hasta la primera semana del mes de julio; y para contribuir a eliminar la otra causa de la demora, se encuentra en proceso de elaboración un proyecto de normas para la presentación de trabajos, las que oportunamente serán dadas a conocer a través de esta publicación y del BOLETIN.

Por otra parte, en su reunión del 6 de octubre de 1972, la Comisión Directiva resolvió —atenta al propósito antes mencionado— aceptar para publicación en GEOACTA a toda contribución científica de la especialidad que reúna, a juicio de la Subcomisión de Publicaciones, los requisitos necesarios para ello, aunque no hubiere sido presentada en las reuniones científicas de la Asociación. Esta resolución comienza a concretarse en este número, con la Comunicación sobre "Perfiles Geofísicos Prospectivos (pág. 77). Los profesionales interesados quedan por este medio invitados a comunicarse con la **Subcomisión de Publicaciones de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Rivadavia 1917, Capital Federal, República Argentina.**

## **LA IONOSFERA: TECNICAS DE OBSERVACION Y POSIBILIDADES EN EL PAIS**

VICTOR H. PADULA PINTOS  
Instituto Tecnológico de Buenos Aires

**Se hace una breve descripción de técnicas utilizadas para medir parámetros ionosféricos, comparando métodos. Se resume la actividad desarrollada en el país y la coordinación lograda entre los distintos grupos de trabajo.**

**A brief description of the techniques used to measure ionospheric parameters is made, comparing the different methods. The activity in the country is described, together with the coordination between the working groups.**

Es una tarea difícil exponer en forma suficientemente breve las diferentes técnicas que pueden emplearse para realizar mediciones en la ionósfera, en relación con la posibilidad de aplicación eficiente de cada una de ellas en el país. Se procurará que la síntesis no resulte tan apretada como para que sea ininteligible.

Históricamente la utilización de la Ionósfera se remonta al 12 de Diciembre de 1901 cuando en un experimento sencillo Marconi transmitió desde Cornwall, en Inglaterra, la letra codificada "S" a través del Atlántico, señal que fue recibida en St. Johns, Canadá, cubriendo una distancia de alrededor de 3.000 Km. El éxito de esta aventura inició una revolución en las comunicaciones a largas distancias. Habría de transcurrir más de medio siglo antes de que llegara otro sistema -el satélite- para competir en ese campo con éxito.

En aquellos días no se advirtió la aparición de lo que podríamos llamar un "sub-producto" de la experiencia: la posibilidad de medir la alta atmósfera utilizando ondas electromagnéticas. Y también en este aspecto habrían de pasar muchos años antes de que aparecieran medios que permitieran concretar otro tipo de mediciones.

La existencia de una capa conductora en la atmósfera superior fue postulada independientemente, en 1902, por Kennelly y por Heaviside. Casi veinticinco años después, Appleton y Barnett en Inglaterra, y Breit y Tuve en Estados Unidos comprobaron que la atmósfera superior era capaz de reflejar ondas electromagnéticas en incidencia casi normal.

En la experiencia de Breit y Tuve se utilizó un transmisor operando en 71 m. de longitud de onda, es decir algo más de 4 MHz, capaz de emitir trenes de pulsos

## 2 LA IONOSFERA

asociado con un receptor cercano. Se verificó así la recepción de dos señales: una que llegaba en forma directa y sin retardo, y otra retrasada por el tiempo empleado en llegar a la ionósfera y volver.

Desde entonces ha sido constante la evolución de métodos, equipos y sistemas. El rango de las frecuencias utilizado en la actualidad se extiende desde las más bajas, a través de todo el espectro hasta las frecuencias ópticas, como ocurre con el lidar (light detection and ranging) -equivalente del radar- que utiliza como fuente un poderoso Laser pulsado. Aunque todavía limitado, por razones tecnológicas, a alturas del orden de los 100 Km, ofrece excelentes posibilidades para el estudio de la atmósfera neutra.

Observando desde tierra la altura virtual de reflexión cuando se varía la frecuencia, los ionosondas han registrado la distribución de la densidad electrónica en función de la altura, revelando la existencia de distintas regiones: D, E, F1 y F2. Sobre la base de los datos provistos por la red mundial de sondajes verticales se ha estudiado ampliamente la morfología general de la ionósfera y su dependencia geográfica, adelantándose teorías sobre formación y desaparición de las distintas capas. Si bien existe una gran variedad de modelos diferentes de sondadores, aún en estaciones que dependen de una misma administración, puede decirse que los equipos modernos operan entre 0,25 ó 0,50 y 25 MHz.

A pesar de que se verifica una relación simple ( $N=2 \cdot$  constante) entre la frecuencia de la onda ordinaria y la concentración electrónica en el nivel donde se produce la reflexión, los tiempos medidos por el sondador entre la emisión de un pulso y la llegada de un eco no están relacionados en forma simple con las distancias realmente recorridas por la onda. Ello se debe a la existencia de retardos que dependen del gradiente en altura de la densidad electrónica en los niveles de reflexión. Es decir, cuando la concentración electrónica aumenta rápidamente, el pulso transmitido llega al nivel en el que es reflejado tras corto recorrido en la ionósfera y no resulta muy retardado en la región. En cambio, cuando la variación de densidad electrónica en función de altura es lenta, el pulso debe recorrer distancias considerables, a velocidades relativamente bajas antes de alcanzar el nivel de reflexión. Resulta entonces drásticamente retardado y las alturas virtuales medidas son sensiblemente mayores que las reales. En la frecuencia crítica la altura virtual aparece tendiendo a infinito.

Si bien los ionosondas constituyen un arma poderosa para el estudio de la ionósfera y su empleo importa la técnica más antigua y más difundida, es necesario señalar algunas limitaciones. En primer lugar, resulta difícil hacer mediciones de ionización en las alturas correspondientes a la región D con el mismo detalle que a alturas mayores. Por otra parte resulta casi imposible deducir información de la zona comprendida entre las regiones E y F (120 a 140 Km) debido a que esa zona está fuertemente apantallada por la región inferior. Esto constituye una desventaja sensible por la importancia y complejidad de los procesos térmicos, químicos, hidrodinámicos y electrodinámicos que tienen lugar en esas alturas. Sin embargo puede lograrse una información en cierto modo indirecta teniendo en cuenta que las ondas ordinaria y extraordinaria son afectadas de modo diferente al atravesar la región. Por último hay que señalar que con sondadores convencionales basados en tierra resulta imposible investigar la ionósfera por encima del máximo de ionización de la región F.

Posiblemente las mayores dificultades en el estudio de la ionósfera se presentan entre los 50 y 100 Km de altura. Y teniendo en cuenta por un lado la dificultad

para poner satélites en órbitas tan bajas y por otro el limitado número de observaciones que pueden hacerse por medio de cohetes, es obvio que esta tecnología no brinda, por lo menos hasta ahora, posibilidades de obtención de datos en forma directa y continua.

De lo anterior resulta evidente la extraordinaria importancia de seguir empleando técnicas basadas en tierra para la investigación de estas regiones, para lo cual es muy importante tener en cuenta la necesidad de mejorar sensiblemente muchas de las características de los equipos de que se dispone en la actualidad.

Sondadores cuyo rango de frecuencias se extiende hasta las más bajas (en algún caso se ha llegado a los 50 KHz) han brindado información muy interesante con referencia a la formación de la región E en las horas del amanecer, al comportamiento de la región D durante la noche y a las variaciones experimentadas por la baja ionósfera a lo largo del ciclo solar.

Por debajo de una cierta frecuencia, la intensidad de la señal que llega al receptor es demasiado baja como para que pueda ser registrada. Los ecos correspondientes llegan normalmente de la región E durante el día y de la región F durante la noche. Varios son los factores que determinan las frecuencias mínimas que aparecerán en los ionogramas. En primer término dependerán lógicamente de la ganancia del receptor, por lo que resulta necesario mantener su valor constante para poder hacer comparaciones entre registros obtenidos en diferentes momentos. Además debe tenerse cuidado con el valor de la sensibilidad a distintas frecuencias a fin de no introducir un factor experimental de error en las conclusiones que se obtengan al estudiar los registros. Otro elemento que influye en el valor de frecuencias mínimas registradas es el nivel de ruido en el receptor. Muchas veces, la presencia de señales de radioemisoras, especialmente durante las horas de la tarde y de la noche, dan lugar a enmascaramiento que impide observar los valores que se buscan. Finalmente, la absorción ionosférica presente es quien establece la mínima frecuencia que da lugar a un eco registrable. En general se trata de absorción no desviativa en la región D, que varía en forma inversa al cuadrado de la frecuencia.

Con ciertas precauciones, los valores de frecuencias mínimas pueden ser utilizados como indicadores de cambios en la absorción ionosférica, de la que pueden proveer una medición razonable. Pueden resultar de suma utilidad para distinguir entre épocas de alta y baja absorción, o para identificar la presencia de condiciones anómalas.

Recientemente se ha comenzado a utilizar ionosondas "de onda continua", en lugar de las tradicionales de pulsos. Esquemáticamente operan variando la frecuencia de un transmisor de onda continua y midiendo la diferencia de frecuencia entre las ondas emitidas y las reflejadas, que se traduce en la medición del tiempo demorado por éstas en su trayecto hacia y desde la ionósfera. Las ventajas más importantes de las mediciones en onda continua pueden resumirse en:

- la posibilidad de utilizar un angosto ancho de banda en los receptores, con lo que se mejora la relación señal-ruido;
- la baja potencia requerida en el transmisor, lo que permite el mayor uso de circuitos de estado sólido en la construcción de los equipos.

En cambio estos equipos exigen un muy buen ajuste en la variación de frecuencia de transmisor y receptor así como la eliminación de las señales de aquel en éste (ECCLES y KING, 1970).

Antes de continuar citando los métodos de que podemos valernos para obte-

#### 4 LA IONOSFERA

ner datos que nos permitan estudiar la ionósfera, conviene hacer un paréntesis para considerar una pregunta que suele surgir no sólo entre quienes se interesan circunstancialmente por ella sino también entre personas que le han dedicado años: ¿se justifica, desde un punto de vista práctico, seguir investigando los fenómenos de la ionósfera o debemos en cambio suponer que esos estudios deben ahora entrar al campo de la ciencia pura por no tener aplicación práctica alguna?

La respuesta no es difícil y posiblemente quepa un símil que varios de nosotros hemos escuchado ya. Cuando se amplió la capacidad de los cables submarinos, se desmantelaron muchas de las estaciones de radio que servían los mismos circuitos que aquéllos, por suponérselas ya inútiles. Como la facilidad crea nuevas necesidades, poco más de un año después fue necesario rehabilitar las estaciones, porque se había superado la capacidad de los cables instalados. Y ya no fueron desmanteladas más, aún se tendieron nuevos cables.

La situación hoy es parecida. Las comunicaciones por satélites brindan una calidad y una seguridad extraordinarias. Para algunos tipos de servicios resultan absolutamente insustituibles. Además la capacidad de los satélites aumenta en forma acelerada y parecería que pueden cubrir íntegramente las demandas de canales presentes y futuros. Pero no es posible descansar exclusivamente en ellos para solucionar todos los problemas de comunicaciones a distancia del mundo. Por un lado hay que tener en cuenta el hecho de que los más eficientes satélites son los sincrónicos, cuyo uso se hace y se justifica en enlaces realmente largos. Tomando el caso de nuestro país, debemos convenir en que en el tráfico Buenos Aires-Mendoza, por ejemplo, deben haber otras vías más convenientes. Además, y hasta dentro de unos cuantos años, parece difícil que podamos contar con ningún satélite propio, por lo que siempre dependeremos de que nuestros intereses y necesidades no resulten conflictivos con los de terceros, que conservarán el poder de decisión.

Por otro lado es necesario tener presente que los satélites constituyen sistemas muy vulnerables que pueden ser fácil y rápidamente destruidos en caso de un conflicto bélico entre potencias, con lo que en pocas horas, o a lo mejor minutos, resultaría necesario pasar a un sistema de alternativa. Es justamente durante situaciones "de emergencia" cuando aparece mayor demanda de comunicaciones confiables, no sólo de carácter militar sino también comercial y periodístico. Esto es lo que hace a la justificación del estudio de la ionósfera para conocer y pronosticar su comportamiento como "sostén" de comunicaciones por esa vía. Pero además y aún cuando solo se tuviera en cuenta el problema derivado de las comunicaciones vía satélite, es necesario tener presente a la ionósfera en el cálculo del sistema y evaluación de su comportamiento ya que ella puede modificar la señal por centelleo, absorción, variación del ángulo de llegada, retardo, dispersión y variaciones de frecuencia y polarización. Es decir que se mantiene el proceso de transferencia a la tecnología, de los resultados de los estudios que se hagan, que no pueden ni deben ser interrumpidos, sino por el contrario, intensificados aprovechando las posibilidades abiertas por las nuevas técnicas disponibles.

En la reciente Reunión Mixta Especial de Comisiones de Estudio, del Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones, realizada en Ginebra en Febrero de 1971, se confirmó tal necesidad. Como ejemplo, se puede afirmar que las fluctuaciones de amplitud producidas por pequeñas irregularidades de la densidad electrónica en la región F de la ionósfera pueden constituir un problema para los sistemas de comunicaciones y de navegación en frecuencias muy y ultra elevadas (VHF y

UHF) (AARONS et al, 1971).

Queda todavía un amplio campo por estudiar antes de que podamos estar seguros de que se ha completado la información necesaria en los aspectos relacionados con las comunicaciones. Por razones fácilmente explicables, me he particularizado en ellos. Pero resulta fácil extender las consideraciones a cada uno de los campos particulares que tienen relación con esta región y en general con la física de la alta atmósfera.

Justificado entonces el interés por seguir estudiando la ionósfera y regiones asociadas, cabe decir que aún falta recorrer un muy largo camino y que son muchos los problemas pendientes: estructura; composición; capas y perfiles; química iónica; proceso de producción y pérdida; constituyentes menores; dinámica; transporte de ionización entre la ionósfera y la magnetósfera y entre los hemisferios sur y norte; expansión, contracción y mantenimiento nocturno de la región F; equilibrio térmico y transporte de calor; distribuciones de energía electrónica; campos eléctricos y corrientes; efectos dinámicos; arrastre de partículas neutras; conductos de silbidos; ubicación y movimiento de la plasmapausa, etc.

Además, siempre debe tenerse presente que la atmósfera superior constituye el vínculo entre el medio en el cual vivimos y el espacio cercano a la Tierra; es el medio en el cual el hombre está ya viajando y el protector entre la potente fuente de energía de que dispone y el nivel donde pretende predecir y modificar las condiciones para mejor proveer a sus necesidades y su confort. De donde resulta evidente que el mejor conocimiento y comprensión de los procesos involucrados aumentará las posibilidades de servicio a la humanidad (GORDON, 1970).

En los últimos años, los sondadores ionosféricos transportados en satélites han abierto un nuevo camino al estudio de la ionósfera, al ofrecer sondajes tomados desde arriba, por encima del máximo de densidad de ionización de la región F. De este modo se ha superado una limitación, mencionada antes, que tienen los sondadores verticales y se han recogido valiosos datos de una zona hasta hace poco inexplorada.

El primer satélite sondador ionosférico desde arriba (Alouette) fue lanzado el 29 de setiembre de 1962. Luego fueron puestos en órbita tres satélites más en el período 1964/69: Explorer 20, Alouette 2 y el Isis 1. El conjunto de estos sondadores espaciales ha ofrecido ya una cantidad superior a los tres millones de ionogramas desde la ionósfera superior.

El sondador Isis 1 resultó el más versátil, con tres modos de operación que permiten un barrido en todo el rango de frecuencias desde 0,1 a 20 MHz en un tiempo de 30 seg. o un barrido de 0,1 a 10 MHz en 20 seg. Podría operar también en un modo "mixto" en el cual el transmisor permanece fijo en la frecuencia de 0,833 MHz mientras el receptor barre la frecuencia en el rango normal de 0,1 a 20 MHz. Las potencias pico de los transmisores en los sondadores son de 100 W en el Alouette I, 100 ó 400 W en el Isis 1. El sondador de frecuencia fija del Isis 1, no opera del mismo modo que el que tenía el Explorer 20, sino que puede ser comandado para operar continuamente en cualquiera de 6 frecuencias posibles: 0,25, 0,48, 1,0, 1,95, 4,0 y 9,303 MHz.

Parece difícil que cualquiera de los problemas enumerados antes pueda ser resuelto por completo usando sólo datos de ionosondas. Se espera que en el futuro dichos datos de ionosondas puedan ser estudiados cada vez más con otros tipos de información obtenida simultáneamente. Como primera medida parece deseable que

## 6 LA IONOSFERA

no sea disminuido el número de ionosondas en el mundo. En realidad hay necesidad de nuevas ionosondas, posiblemente de tipos especiales, que deberían ser instalados en lugares de la Tierra que no están actualmente cubiertos por la red. Es interesante señalar aquí que tales son las conclusiones del Grupo Asesor de la Red Ionosférica (INAG) que funciona bajo los auspicios del Comité de Física Solar-Terrestre de la Unión Radio Científica Internacional (URSI).

Las observaciones, usando ionosondas basados en tierra, junto con cohetes portadores de instrumentos para medir la concentración electrónica, la composición iónica, los movimientos del aire neutro y los campos eléctricos, son esenciales a fin de tener la mejor comprensión de la capa E esporádica. Tales ionosondas deben poder informar sobre los cambios rápidos de la región; entonces deberían lanzarse varios cohetes durante un corto lapso. Estos experimentos tendrían que ser completados por mediciones de vientos electrónicos cruzados (ECCLES y KING, 1970),

Mencionado ya el método de sondajes verticales, cabe citar la posibilidad de utilizar incidencia oblicua (BRADLEY et al., 1970). Una muy pequeña parte de la energía que llega a tierra vía ionósfera es retrodispersada o reflejada "hacia atrás" y puede regresar al lugar de emplazamiento del transmisor siguiendo el mismo o parecido camino que el de la señal original, ofreciendo así información no sólo sobre el mecanismo de propagación involucrado sino también sobre las características de la retrodispersión producida.

Es posible obtener una presentación en "Plan Position Indicator" (PPI) de la retrodispersión desde tierra, usando al efecto una antena continuamente rotatoria (VILLARD y PETERSON, 1952). Esta técnica es muy conveniente para investigar la ionósfera y los gradientes de ionización alrededor de la estación; en particular se puede estudiar la existencia y movimientos de E esporádica (HARWOOD, 1961; SHEARMAN y HARWOOD, 1960). A veces, cuando la ionósfera está estratificada esféricamente dentro de los lóbulos de las antenas transmisora y receptora, los ecos atribuibles al "enfoco de salto" de las componentes ordinaria y extraordinaria de la onda aparecen separados y son fácilmente identificados. Se puede aprovechar esta característica para determinar las oportunidades en que hay gradientes apreciables de ionización. Recientemente se han empleado técnicas de trazado de rayos, relativamente sofisticadas, usando computadoras, para deducir ionogramas sintéticos de los registros de retrodispersión (CROFT, 1967). Se pueden utilizar estas técnicas para establecer las distribuciones verticales de ionización partiendo de datos de retrodispersión y por lo tanto proveen un método de medición de ionogramas en lugares alejados del transmisor.

El sondaje oblicuo de la ionósfera con pulsos de frecuencia variable apareció como una extensión natural de los sondajes verticales tan pronto como las técnicas de instrumentación alcanzaron un estado tal como para permitir que un receptor remoto fuera mantenido en exacta sintonía en la frecuencia variable del transmisor. Esta técnica hizo posible investigar las características de los modos de propagación sobre caminos oblicuos directamente, en lugar de tenerlos que inferir de mediciones indirectas, como serían los sondajes de incidencia vertical en el punto medio, o transmisiones en una sola frecuencia.

Los sondajes oblicuos pueden ser usados para determinar los tiempos relativos de tránsito de los varios modos de propagación y mostrar cómo cambian con la

frecuencia y hasta para medir los tiempos absolutos si se cuenta con señales de referencia adecuadas en el receptor. Esta última información permite que los diferentes modos de propagación sean fácilmente identificados.

Se pueden obtener ionogramas oblicuos de alta calidad utilizando la técnica "chirp" de onda continua (FENWICK y BARRY, 1966). Como se enunció antes, en este sistema el transmisor y el receptor están programados para variar la frecuencia en la misma forma lineal. La frecuencia del receptor está generalmente "desplazada" de modo que se produzca una frecuencia de batido que depende de la "desintonía" entre transmisor y receptor y del tiempo que la señal ha demorado en llegar de aquél a éste.

Cuando existe más de una trayectoria de propagación aparecerán un número correspondiente de frecuencias de batido y habrá que usar técnicas de análisis de espectro para separar las componentes de la señal y deducir sus correspondientes trayectorias relativas. La longitud absoluta de la trayectoria de las componentes individuales puede deducirse si se conoce exactamente los desplazamientos en tiempo de las frecuencias del transmisor y receptor, presentándose de manera similar a la utilizada en los ionogramas convencionales.

A pesar de que la instrumentación para los sondajes "chirp" es compleja (FENWICK y BARRY, 1965) y que las instalaciones son necesariamente costosas, se pueden lograr registros muy claros y libres de interferencia. Se han obtenido buenos ionogramas utilizando transmisores con sólo unos 100 W de potencia, mostrando la existencia de propagación "alrededor del mundo" de todas las frecuencias dentro de un rango que va de 10 a 25 MHz.

Las experiencias con sondadores oblicuos se coordinan frecuentemente con el empleo de otros instrumentos. Han sido usados, por ejemplo, con sondadores verticales en un programa de prueba de predicción a corto plazo de características ionosféricas para una región restringida del mundo, aunque con éxito solamente limitado; por lo general los datos de los sondajes oblicuos se relacionan con trayectorias específicas de propagación y no son particularmente compatibles con la información usada por las técnicas normales del mapeo ionosférico.

Diversos investigadores han hecho comparaciones entre los ionogramas oblicuos y los obtenidos en incidencia vertical en el punto medio. Se ha encontrado que aparecen discrepancias, que en algunos casos individuales suelen ser sorprendentemente grandes, entre los resultados obtenidos por los dos sistemas. Las irregularidades que aparecen en las trazas de dispersión pueden ofrecer un camino contribuyente al estudio de características de las regiones E esporádica o F difusa que las pueden causar (BRADLEY et al, 1970). Evidentemente, no es posible detenerse aquí para profundizar en los detalles involucrados en cada una de las técnicas de medición pues no es ese el objeto de este trabajo que se alargaría fuera de límites admisibles.

Queda así planteado entonces el modo más "tradicional" de medir la ionósfera, con su evolución desde las primeras observaciones y sus posibilidades, y en lo que sigue se mencionan, dentro del mismo criterio, otras técnicas que son de aplicación, algunas también derivadas de las ya descritas.

Cuando varía la altura de la región de la ionósfera en que se reflejan las ondas electromagnéticas, la frecuencia de la onda reflejada parece sufrir fluctuaciones por efecto Doppler. Si se mezcla dicha frecuencia con otra estable originada en la estación receptora, se obtiene una frecuencia de batido, cuya variación, a su vez, nos da

## 8 LA IONOSFERA

información para reproducir el desplazamiento de la altura de reflexión (DAVIES y BAKER, 1966). Tales desplazamientos pueden deberse realmente a un movimiento de las capas o bien a variaciones de densidad de ionización que den lugar a reflexiones en distintos puntos. Las señales resultantes se graban normalmente en cinta para facilitar su análisis.

Existen muchas transmisiones de frecuencia patrón que pueden ser utilizadas para este tipo de experiencias, por lo que es sólo necesario disponer de equipos para registro, lo que hace que la técnica resulte relativamente económica. El método es apropiado para estudiar los fenómenos asociados con cambios a corto plazo en la ionósfera, como pueden ser los asociados con aumentos de ionización o con movimientos verticales. Los rápidos incrementos en la radiación ultravioleta solar dan lugar a aumentos de ionización que cuando aparecen en las alturas de las regiones E o F producen desviaciones súbitas de frecuencia en el registro de batido (DONNELLY, 1969).

El método tiene limitaciones, ya que resulta útil sólo cuando es aplicable la teoría de rayos, lo que no ocurre cuando el aumento súbito de ionización da lugar a que la reflexión salte de la región F a la E. La resolución en frecuencia de las medidas es del orden de 0,1 Hz. Como la estabilidad de frecuencia de los ecos provenientes de la región E es generalmente mayor que ésta, la técnica Doppler ha quedado limitada al estudio de los ecos de la región F.

La interpretación de los datos se complica por el hecho de que el desplazamiento Doppler depende de los efectos integrados a lo largo de las trayectorias de propagación hasta el nivel de reflexión. Los cambios de ionización en diferentes alturas pueden sin embargo llegar a identificarse utilizando registros Doppler en frecuencias múltiples. No hay duda de que la técnica Doppler en alta frecuencia continuará siendo un auxiliar importante para el estudio de las explosiones de radiación solar ultravioleta, por lo menos hasta que haya disponibilidad de datos rutinarios de satélites con una adecuada resolución en tiempo.

Hace no muchos años, se observó la recepción de señales en frecuencias muy superiores a las máximas utilizables previstas para las trayectorias correspondientes. Algunos de los primeros informes de comunicaciones satisfactorias mantenidas en tan altas frecuencias fueron dados por radioaficionados. Los estudios posteriores llevaron a establecer que este tipo de propagación es común en años de alta actividad solar y que ocurre particularmente en regiones ecuatoriales. Se han registrado casos en los que se obtuvo propagación satisfactoria con frecuencias superiores a 50 MHz, en trayectos transecuatoriales de hasta 7.000 Km.

El mecanismo involucrado es diferente al que corresponde a la propagación ionosférica normal. Aquí se ha encontrado que se está en presencia de una verdadera dispersión en irregularidades de la ionósfera. Existen ya muchas experiencias realizadas aplicando este concepto y trabajos publicados, cuyo detalle no cabe aquí (BAILEY et al, 1955; MIYA y SASAKI, 1966; COHEN y BOWLEY 1968).

Se podría obtener valiosa información de la ionósfera de altas latitudes utilizando datos de dispersión en avance junto con los de ionosondas de incidencia vertical y de riómetros operando en el punto medio de la trayectoria. En particular, si se pudieran identificar las alturas de los centros de dispersión, utilizando por ejemplo antenas de haz muy angosto, y se operara en dos o más frecuencias, el sistema podría ser utilizado para distinguir entre los varios efectos que amplifican o absorben las señales dispersadas. También puede aplicarse esta técnica al estudio de las

características de la ionósfera ecuatorial (E esporádica y chorro ecuatorial) así como a las irregularidades que originan ecos F-difusos (ECCLES et al, 1970).

El modo más simple y posiblemente uno de los más usados de observación en incidencia oblicua involucra la medición de la amplitud y fase relativas, de señales recibidas de transmisores de muy baja frecuencia (VLF) distantes que irradian señales de onda continua con alta estabilidad de fase (estabilidad en frecuencia de 1 en  $10^{10}$  o mejor). Cuando se tienen trayectorias suficientemente largas se puede suponer que se recibe sólo un modo significativo. En estas circunstancias solamente pueden observarse cambios de fase y amplitud de las señales recibidas, de modo que los registros identifican nada más que variaciones diarias debidas a distintas intensidades de iluminación solar y los efectos causados por los relumbrones solares, tormentas magnéticas, y fenómenos de casquete polar. Debido a que en general las condiciones ionosféricas iniciales (anteriores al cambio) son desconocidas, es difícil determinar cuantitativamente los cambios ionosféricos asociados con los de propagación (CRAIN, 1970).

Cabe ahora mencionar las mediciones de absorción ionosférica, que se realizan fundamentalmente por tres métodos diferentes:

A1 o método de pulsos: consiste en la medición y comparación de la amplitud de los ecos recibidos cuando se emiten trenes de pulsos, como en los sondajes verticales.

A2 o riometría (Relative Ionospheric Opacity), en el cual se registran intensidades de señales de ruido cósmico, comparándose luego los valores con respecto a una máxima amplitud (mínima absorción) tomada como referencia.

A3 o registro de señales de transmisores de características conocidas, propagadas a largas distancias.

La importancia de utilizar más de una técnica de absorción en una misma estación ha sido frecuentemente señalada, pero todavía hay poca información sobre resultados, aún cuando existan estaciones donde se han hecho observaciones en A1 y A2 (Delhi; Ahmedabad; Neustrelita Alma Ata) o en A1 y A3 (Lindau).

Los diferentes métodos no dan datos directamente comparables entre sí. Aparte del hecho de que en la absorción medida con la técnica A2 existe una notable contribución de la región F —que a veces puede llegar a dominar— ésta es menos sensible a los desvanecimientos que la A1 y A3. Puede dar buena exactitud en sucesos de corta duración, pero es difícil de calibrar para absorción que varía lentamente. Las A1 y A3 son, en cambio, muy sensibles a las pequeñas variaciones de absorción pero no pueden ser fácilmente aplicadas para medir las de mayor magnitud.

Los análisis morfológicos han consistido por lo general en establecer las variaciones diurnas y estacionales de absorción en función del ángulo cenital del sol, de la frecuencia; de la actividad solar; variaciones anómalas en invierno en latitudes medias y bajas y los cambios durante los relumbrones solares y tormentas magnéticas (APPLETON y PIGGOTT, 1954). El problema de separar la contribución de las regiones D y E en la absorción puede ser muy difícil.

La mayor fuente de error en la técnica A2 radica en la preparación de una curva confiable de día calmo para referencia. Esta curva se obtiene en general de la envolvente superior en la graficación de lecturas individuales entre 0 y 4 de la mañana, cuando se supone que la absorción tiene valores mínimos. Requiere por lo me-

## 10 LA IONOSFERA

nos un año de observación. La presencia de absorción aún durante estas horas nocturnas —como ocurre cuando hay F esporádica— hace que la preparación de la de la curva de día calmo resulte con frecuencia dificultosa.

En mediciones por el método A3, la frecuencia y la distancia se elijen de tal modo que la intensidad de campo a mediodía se deba a propagación por un salto en la región E, quedando impedida por apantallamiento la propagación por F y fuertemente absorbidas las reflexiones de órdenes mayores. Las frecuencias y distancias recomendadas, para latitudes medias, son 2 a 3 MHz y 100 a 400 Km.

Siempre que se tomen ciertas precauciones, el valor de la frecuencia mínima ( $f_{min}$ ) registrada con los ionosondas puede ser utilizada como una indicación de absorción y bajo ciertas circunstancias puede proveer mediciones razonables. Se ha encontrado potencialmente útil para distinguir entre días de alta y baja absorción; para interpolar entre los valores de absorción provistos por mediciones más directas; para estudiar las variaciones diarias e identificar condiciones anómalas, y para estudiar la aparición de obscurecimientos polares.

Las limitaciones del uso de las frecuencias mínimas como un indicador de absorción están impuestas por el nivel de ruido o interferencia y su variación. Se señaló antes que las señales fuertes de las radioemisoras de frecuencia media durante el atardecer y la noche pueden hacer que el parámetro pierda significado a dichas horas. En general se debe esperar que los registros de  $f_{min}$  puedan ser solamente confiables cuando los valores medianos mensuales son bajos. Es evidente que no se pueden hacer mediciones útiles de  $f_{min}$  si se trabaja con equipos que cuentan con control automático de ganancia, lo cual establece una nueva exigencia.

Para las mediciones de absorción normal, el método A1 es probablemente el más confiable y se recomienda generalmente como sistema primario mientras que el A2 se considera un sistema secundario. El método A2 sólo es recomendable para altas latitudes pero puede dar valores útiles en latitudes menores, especialmente en la zona donde  $f_oF2$  es de valor elevado, si se hace una apropiada elección de la frecuencia, se utiliza una antena de haz angosto y se hace una larga serie de observaciones. En 30 MHz o más, la absorción en la mayoría de los casos es comparable al error de determinación y por lo tanto no tiene mucho valor.

En presencia de relumbrones solares la técnica de riometría resulta ser la más práctica desde que a las frecuencias más bajas empleadas por las otras técnicas, los relumbrones pueden causar desvanecimientos completos (MITRA, 1970).

En los últimos años se han ampliado las técnicas de medición de la ionósfera que utilizan sus efectos sobre las condiciones de propagación de las ondas electromagnéticas, por la posibilidad de uso de vehículos espaciales (cohetes y satélites). Por lo general las técnicas de radiopropagación necesitan uno o más transmisores en tierra y sus correspondientes receptores en el cohete, excepto en el método de SEDDON en el cual los lugares son invertidos (MAEDA, 1970).

Se puede afirmar que los atmosféricos producidos por descargas eléctricas (rayos) no se utilizarían para estudiar las propiedades de la ionósfera si se pudiera trabajar bajo condiciones más controladas en base de transmisores artificiales. Las observaciones de atmosféricos se complican por la necesidad de conocer, medir o presumir las ubicaciones de las fuentes, el espectro de frecuencias, el diagrama direccional y la polarización de la energía radiada. Estos factores serían conocidos adecuadamente si se utilizara un transmisor convencional. Sin embargo hay algunas ventajas en emplear descargas eléctricas como fuentes, por el hecho de que entregan

energía en frecuencias por debajo de las de cualquier transmisor y que además existe "gratis" una gran cantidad. Se pueden hacer observaciones de atmosféricos individuales y de ruido integrado en frecuencia muy baja (VLF) y extremadamente baja (ELF) y observación de silbidos.

La extensión de las técnicas de ionosondas de altas frecuencias a las frecuencias más bajas, permite en principio explorar las regiones más bajas de la ionósfera. Sin embargo aparecen dos problemas principales. El primero radica en la dificultad práctica de irradiar energía suficiente para obtener señales reflejadas detectables. El segundo, que es fundamental, resulta del hecho de que la longitud de onda se hace grande comparada con las diferencias de altura que deben obtenerse. Mientras que en alta frecuencia el tiempo de demora del pulso reflejado en una frecuencia particular puede ser fácilmente interpretado en términos de densidad electrónica en una cierta altura, la reflexión de energía en longitudes de onda mucho mayores requiere una interpretación más elaborada, en base de la teoría de ondas completa.

La mayoría de los análisis de formas de ondas de atmosféricos han sido hechos con énfasis en la estimación de las distancias a las fuentes remotas. Mucho menos esfuerzo se ha dedicado a deducir los parámetros relevantes de la ionósfera. Sin embargo, puede deducirse fácilmente una altura efectiva de reflexión, en particular cuando el pulso debido a una descarga eléctrica sufre sucesivas reflexiones entre la tierra y la ionósfera dando lugar a una forma de onda con una serie de ecos, con o sin pulsos, recibidos por propagación en onda terrestre (HORNER y CLARKE, 1955). De noche se reciben muchos ecos por saltos múltiples y hay acuerdo general en que la altura efectiva de reflexión es de alrededor de 85 Km. Esta altura coincide con otras determinaciones de distribuciones de concentración electrónica medidas en la región D.

Durante el día aparecen concentraciones de electrones ( $200/\text{cm}^3$ ) en alturas menores, -alrededor de 65 a 70 Km - y tal es la altura efectiva de reflexión. Sin embargo existe considerable absorción que impide la reflexión de largos trenes de ecos. Muy pocas formas de onda son aptas para análisis simples.

Se han hecho extensos estudios de formas de ondas de atmosféricos de fuentes distantes que han dado interesantes datos de propagación, particularmente sobre efectos no recíprocos causados por el campo magnético terrestre (TAYLOR, 1967). Los cálculos de atenuación en función de distancia basados en la presunción de modelos ionosféricos, concuerdan con las atenuaciones medidas, pero los procedimientos inversos no constituyen un método práctico para deducir los parámetros ionosféricos de las mediciones de propagación.

Es decir que el análisis de formas de ondas puede proveer datos útiles sobre las alturas efectivas de reflexión y condiciones de atenuación, y concuerdan a menudo con valores calculados sobre la base de varios modelos de ionósfera, pero los resultados no son sensibles al modelo particular elegido. Parecería por lo tanto que los datos son más útiles como un medio de verificación de que un modelo supuesto es por lo menos aceptable y, con seguridad, más importantes para patrullar cambios en condiciones ionosféricas, especialmente cuando la ionósfera está perturbada.

En la mayoría de las estaciones de recepción, el nivel general de ruido atmosférico en VLF resulta de las descargas eléctricas en muchas tormentas, propagándose la energía a lo largo de distancias considerables. El ruido puede por lo tanto usarse para detectar cambios en la ionósfera inferior sobre trayectorias largas. Sin embargo el estudio del ruido integrado es menos satisfactorio en algunos aspectos que las

## 12 LA IONOSFERA

mediciones de atmosféricos individuales, como medio para determinar parámetros ionosféricos, tales como alturas efectivas de reflexión y conductividad de la ionósfera. Como las fuentes son distantes, cualquier característica ionosférica que se obtenga debe ser promediada sobre un largo trayecto; las fuentes son difusas y los puntos de reflexión correspondientemente inciertos. No obstante y siempre que las regiones principales de las fuentes sean conocidas, por ejemplo sobre la base de redes de goniometría u otros medios, el ruido integrado es un índice útil del estado de la ionósfera. Puede ser fácilmente medido y las variaciones pueden ser relacionadas con condiciones cambiantes (por ejemplo salida del sol) en cualquier punto particular de la trayectoria "multisaltos"

Las variaciones diurnas normales demuestran que en 27 KHz, la propagación en largas distancias es mejor de noche que de día. En latitudes medias la mayor absorción aparece cuando la línea crepuscular pasa a través de la ionósfera en algún punto entre las tormentas y el receptor. Las variaciones diurnas de ruido dependen sin embargo no sólo de los cambios ionosféricos sino también del movimiento de las tormentas. En Sud Africa, donde aparecen tormentas relativamente cercanas en el atardecer en verano, los efectos de puesta del sol son menos regulares que los de salida del Sol (SCHOUTEVANNECK y WRIGHT, 1968). Los registros en altas latitudes parecen ser muy distintos de los que se obtienen en regiones templadas debido a las enormes distancias hasta las tormentas, así como a efectos geomagnéticos. Por ejemplo, en ciertas oportunidades Spitzbergen en el Artico tiene un máximo de día, y Mirny en la Antártida tiene un máximo de noche.

En condiciones ionosféricamente perturbadas el ruido integrado sufre cambios notables. Las perturbaciones ionosféricas súbitas (SID) dan lugar a aumentos súbitos de los atmosféricos (SEA) en 27 KHz y anomalías súbitas de fase, causadas por la mayor emisión solar de rayos X duros y radiación Lyman alfa que penetra en la región D, llegando a una altura de 70 Km sin afectar apreciablemente la ionósfera superior e induciendo una ionización adicional momentánea entre los 60 y 70 Km. Los aumentos de atmosféricos no se extienden sobre un rango amplio de frecuencias. Más aún, en 10 KHz aparece una correspondiente disminución de densidad (KAMADA, 1965). La precipitación de partículas de alta energía también produce ionización adicional en la ionósfera inferior acompañada a menudo por tormentas magnéticas intensas. En frecuencias comprendidas entre 5 y 40 MHz, estos fenómenos dan lugar a una disminución en el ruido integrado durante la noche, comparado con el nivel normal, y a un aumento durante el día.

Es evidente de lo anterior que las variaciones en intensidad de ruido atmosférico están estrictamente relacionadas con los cambios en los estados de la ionósfera en la trayectoria entre las fuentes importantes y las estaciones, pero que también las ubicaciones de tales fuentes afectarán la forma de variación del ruido. No puede afirmarse que las observaciones de ruido puedan ser utilizadas para decidir explícitamente la variación de los constituyentes ionosféricos en función de la altura, a pesar de que las intensidades de ruido hayan sido relacionadas con la conductividad ionosférica (SCHANING y CUMME, 1969). Sin embargo el ruido es un indicador sensible de los cambios a corto plazo que aparecen en la ionósfera en condiciones perturbadas y su observación serviría como un patrullado útil del estado general de la ionósfera durante períodos en los que se hacen sondeos por otros métodos.

En la región de ELF del espectro (3 - 3.000 Hz) no existen radio-transmisores

por lo que los datos experimentales de propagación deben ser deducidos exclusivamente del estudio de atmosféricos. La teoría de propagación es suficientemente comprendida pero las dificultades de obtener datos experimentales confiables son considerables. Las investigaciones de ELF son, en parte, una extensión del trabajo en VLF, y en parte se realizan por el estudio de "resonancias Schumann" en frecuencias de pocos ciclos (SCHUMANN; 1952). Dicho autor señaló que el casquete esférico de aire dieléctrico entre dos superficies altamente conductoras, la tierra y la región inferior de la ionósfera, podría actuar como un resonador de ondas electromagnéticas de frecuencias de alrededor de 10 Hz.

En ELF los campos electromagnéticos se propagan sobre la superficie terrestre en el modo  $TM_0$  dentro de la guía de ondas esférica formada por la tierra y la ionósfera. La atenuación de las señales de este modo aumenta rápidamente a medida que nos acercamos a la frecuencia de corte, que está alrededor de 2,5 KHz.

Aparte de la reflexión de energía en el borde inferior de la ionósfera, que se menciona más arriba, hay que señalar que una parte de la energía es transmitida a través de la ionósfera, como resultado de sus características magnetoiónicas. El medio se caracteriza por su dispersión y anisotropía. Aparecen trayectorias canalizadas y no canalizadas dentro de la ionósfera y magnetósfera.

Las señales dispersadas provenientes de las descargas eléctricas se llaman comúnmente "silbidos". Los silbidos canalizados que se observan en la superficie de la tierra proveen información sobre la distribución de los electrones y los desplazamientos latitudinales de los conductos en la magnetósfera. Los silbidos no canalizados, observados en satélites, dan información sobre concentraciones de electrones y iones, sobre el campo magnético terrestre, y sobre amortiguación de la onda por partículas energéticas.

En realidad, el estudio de las ondas de muy baja frecuencia en la magnetósfera, excitadas por descargas eléctricas comenzó para todos los propósitos prácticos cuando STOREY, publicó un trabajo sobre silbidos en 1953. Su uso para estudiar las distribuciones electrónicas en la magnetósfera se desarrolló durante el Año Geofísico Internacional, haciéndose observaciones en cohetes y satélites como complemento de las mediciones en tierra. Algunos de los más importantes resultados referentes a ondas de muy baja frecuencia en la magnetósfera, se han obtenido como resultado directo de experimentos en satélites.

La conclusión más importante sobre los resultados de la investigación de la baja ionósfera usando atmosféricos es que sólo se han obtenido parámetros efectivos, tales como conductividad y altura de reflexión. Hay algunas evidencias que las alturas efectivas deducidas representan la altura real del lugar donde se produce el aumento relativamente abrupto (salto) de densidad electrónica en la región D y es posible que un examen más minucioso pueda llevar a lograr mayor información sobre los perfiles de densidad electrónica (HORNER, 1970).

La mención hecha de las diversas técnicas de observación ionosférica es esquemática y además incompleta. Sin embargo no es posible dejar de citar las mediciones de viento ionosférico (drift) que buscan conocer los movimientos "horizontales" sobre determinadas estaciones; el cálculo de contenido electrónico en una "columna" sobre la base de la rotación de polarización (rotación de Faraday) de señales recibidas; y la dispersión incoherente, que permite medir fenómenos hasta alturas considerables empleando potencias muy grandes y sistemas de antenas de dimensiones poco comunes.

Hecha una relación sumaria de los métodos de que podemos valernos para observar y medir la ionósfera, corresponde ahora recapitular brevemente sobre lo hecho, lo que se hace, lo que se tiene planeado y lo que podría hacerse con los medios humanos y técnicos del país.

El trabajo se inició con la década del 50, en forma muy modesta, con sondajes de incidencia vertical en Buenos Aires. Ya en oportunidad del Año Geofísico Internacional estuvieron activas siete estaciones distribuidas desde La Quiaca hasta Ushuaia en el territorio continental y hasta la Base General Belgrano en la Antártida.

Con altibajos, no pocos sacrificios y algunas modificaciones, se ha mantenido activa la red, dependiente de distintos organismos (Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Antártico Argentino y Laboratorio Ionosférico de la Armada (LIARA) y se han agregado nuevas observaciones y experiencias, tendientes a brindar nueva información y permitir la concreción de estudios que lleven al mejor conocimiento posible de la ionósfera en una zona geográfica que ha demostrado presentar particulares características geofísicas.

Se han hecho ya registros de señales de satélites baliza; estudios de centelleo; recepción y registro de emisiones de muy baja frecuencia; registros de riometría; observaciones y mediciones especiales mediante lanzamientos de cohetes; etc.

Conviene señalar un hecho alentador en el desarrollo de estos trabajos. Si bien en muchos casos, por razones de distancia especialmente, los grupos activos han debido actuar en forma independiente de los otros, se ha mantenido un permanente contacto y un muy estrecho espíritu de colaboración que ha llevado a la concreción del llamado "Programa Nacional de Ionósfera". Aunque todos somos conscientes de que éste no es perfecto, y que posiblemente deba ser ajustado en algunos aspectos, no puede negarse que se trate del "producto de la coordinación de los planes de trabajo de los distintos grupos que participan en el mismo, en un esquema integrante e integral que tiende al desarrollo acelerado de la disciplina ionosférica de la República Argentina"

El Programa contiene diversos proyectos, relacionados pero en cierto modo independientes. Uno de ellos, denominado "Ionósfera Inferior" pretende determinar modelos teóricos que reproduzcan las propiedades de la región comprendida entre 50 y 160 Km de altura, teniendo en cuenta las particularidades de la anomalía geomagnética del Atlántico Sur, y determinar los mecanismos de interacción entre la ionósfera inferior y la atmósfera "meteorológica"

El segundo proyecto se denomina "Ionósfera Superior" y encara el estudio de las variaciones de la ionósfera por encima de 160 Km, pretendiendo la determinación de modelos teóricos que se ajusten a las observaciones.

Por último, en el tercer proyecto, "Dinámica Ionosférica", se investigarán los movimientos de ionización en alturas superiores a 100 Km, buscando determinar las características del movimiento en condiciones normales y perturbadas y la correlación entre los movimientos de ionización y dinámica de la atmósfera neutra.

En todo el Programa se buscará la transferencia de los resultados a la aplicación tecnológica, en particular, a las comunicaciones, y ha sido dividido en etapas por años. Si bien no es posible reproducir aquí todo el programa, dentro del tema de este trabajo, parece conveniente mencionar las observaciones programadas para las primeras etapas:

- Observación y medición de fase y amplitud de señales de muy baja frecuencia;
- Registro de absorción ionosférica por el método A2;

Sondajes verticales en varias estaciones;  
 Observación de irregularidades ionosféricas mediante el lanzamiento de cohetes con cargas útiles diseñadas y construidas al efecto;  
 Observaciones centitales sistemáticas de luminiscencia nocturna;  
 Observaciones de viento ionosférico (drift);  
 Observación de señales de satélites.

De esta enumeración surge que son varias las técnicas que ya se emplean en el país. Tenemos la capacidad potencial para incorporar eficientemente otras. Existe sin embargo un "pero" que todos conocemos y que escapa al objeto de éste trabajo pero que debe mencionarse: los medios, tanto humanos como materiales, son costosos y desgraciadamente no todos advierten que los países que marchan a la vanguardia en el mundo son los que han comprendido que el estudio y la investigación reditúan siempre dividendos superiores a las inversiones realizadas.

Ya estamos en mora. El tiempo dirá si se aprovecha la experiencia recogida en muchos años o no. Si nos estancamos en las observaciones actuales y los estudios realizados -ya pobres en muchos aspectos a causa de equipos obsoletos y escasos investigadores- o si las incrementamos.

En parte depende de nosotros mismos, de nuestra habilidad o perseverancia para derribar vallas, trabas e incomprensiones. Desgraciadamente algunas son tan fuertes que agotan muchos entusiasmos. Pero todavía podemos ser optimistas.

## **BIBLIOGRAFIA**

- AARONS J., WHITNEY H. E. y ALLEN R. S., 1971: Proc. Inst. Elect. Elect. Engin.; Vol. 59, N° 2, p. 159.**
- APPLETON E. V. y PIGGOTT W. R., 1954: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 5, p. 141.**
- BAILEY D. K., BATEMAN R. y KIRBY R. C., 1955: Proc. Inst. Rad. Engin.; Vol. 43, p. 181.**
- BAILEY D. K., 1968: Rev. Geophys.; Vol. 6, p. 289**
- BRADLEY P. A., ECCLES D. y KING J. N., 1970: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 32, p. 499.**
- COHEN R. y BOWLES K. L., 1963: J. Res. NBS; Vol. 67, p. 459.**
- CRAIN C. M., 1970: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 32, p. 551.**
- CROFT T. A., 1967: Radio Sci; Vol. 2, p. 739.**
- DAVIES K. y BAKER D. M., 1966: Radio Sci.; Vol. 1; p. 545.**
- DONNELLY R. F., 1969: J. Geoph. Res.; Vol. 74, p. 1873.**
- ECCLES D. y KING J. W., 1970: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 32, p. 517.**
- ECCLES D., KING J. W. y BRADLEY P. A.; 1970: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 32, p. 539.**
- FENWICK R. B. y BARRY G. H., 1965: Electronics; Vol. 35, p. 66.**
- FENWICK R. B. y BARRY G. H., 1966: Inst. Elect. Elect. Engin., Trns. Broadcast.; BC – 12, p. 25.**

- GORDON N. E., 1970: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 32, p. 459.*
- HARWOOD J., 1961: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 20, p. 243.*
- HORNER F. y CLARKE C., 1955: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 7, p. 1.*
- HORNER F., 1970: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 32, p. 609.*
- KAMADA T., 1965: Progress in Radio Sci. Ed. F. Horner, Elsevier, New York, p. 14.*
- MAEDA K. I., 1970: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 32, p. 647.*
- MITRA A. P., 1970 : J. Appl. Terr. Phys; Vol. 32, p. 623.*
- MIYA K. y SASAKI T., 1966: Radio Sci.; Vol. 1, p. 99.*
- SCHANING B. y CUMME G., 1969: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 32, p. 609.*
- SCHUMANN, W. O., 1952: Zeitsch f. Naturforschung; 7A, 149.*
- SCHOUTE-VANNECK C. A. y WRIGHT A. G., 1968: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 30, p. 609.*
- SHEARMAN E. D. R. y HARWOOD J., 1960: J. Appl. Terr. Phys; Vol. 18, p. 28.*
- STOREY, 1953: Phil. Trans. R. Soc.; 246 A, p. 113.*
- TAYLOR W. L., 1967: Radio Sci.; Vol. 2, p. 139.*
- VILLARD O. G. y PETERSON A. M., 1952: Inst. Elect. Elect. Engin., Trans. Ant. Prop.; Proc. Gr. Ant. Prop. 3, p. 186.*

## DETERMINACION DE PUNTOS TRIGONOMETRICOS DE SEGUNDO ORDEN

E. HORVAT y R. RODRIGUEZ  
Instituto Geográfico Militar

**La investigación realizada tuvo por objeto incorporar instrumentos electrónicos de medición de distancias, en combinación con los instrumentos ópticos clásicos, para la determinación de puntos de segundo orden.**

**Se experimentaron tres métodos: dos de ellos, agregando cuatro puntos más en cada cuadrilátero de primer orden, de igual precisión a la que tienen los de segundo orden. Los resultados obtenidos se compararon con los de la solución clásica.**

**Se introdujeron torres livianas de aluminio, fácilmente transportables, que permitieron obtener buenos resultados en la medición angular cuando la velocidad del viento es inferior a 3m/s.**

**Del desarrollo del trabajo surgieron las normas a tomar para alcanzar la precisión deseada.**

**Los reducidos errores medios de las coordenadas de los puntos determinados, y los bajos costos de las operaciones, hacen recomendable el empleo de cualquiera de los métodos experimentados.**

**An experience has been carried out in order to combine electronic and optical instruments for distance measurements when determining second order point stations.**

**Three methods have been experimented. In two of them four stations are added to every first-order quadrilateral, all those points having a second-order precision. Results so obtained have been compared to the ones obtained through the classic solution.**

**Light aluminum towers, easy to transport, have been employed allowing fair angular measurement results when wind velocity was lower than 3 m/sec.**

**Rules to be taken into account to achieve the desired accuracy evolved from the investigation.**

### 1 Objeto de la experiencia

Ensayar nuevos métodos para determinar puntos de segundo orden mediante el uso de instrumentos electrónicos de medición de distancias, en combinación con los instrumentos convencionales (teodolitos de 0", 2) y comparar sus resultados con el método clásico, que consiste en medir direcciones desde puntos de primer orden hacia un punto de segundo orden y desde éste hacia los primeros (Fig. 1). . Fue examinado, asimismo, el comportamiento de la torre de aluminio North, modelo T1000.

### 2 Desarrollo del trabajo

Para cumplir la investigación fue elegida la Zona de General Pinedo (Chaco), donde el IGM está ejecutando su triangulación; allí el terreno es llano y el bosque se alterna con el cultivo.

**Métodos ensayados:** Fueron experimentadas tres soluciones: intersección combinada de arcos y rectas, intersección combinada múltiple y sistema poligonal.

- a) En el método de la intersección combinada de arcos y rectas, las mediciones angulares solo se efectuaron en el punto de segundo orden, agregándose la medición de las distancias entre este punto y los de primer orden (Fig. 2).
- b) La segunda solución –intersección combinada múltiple– se resolvió incorporando cinco puntos, cuatro de los cuales fue menester ubicar próximos a las líneas que unen los puntos de primer orden y, aproximadamente, en la mitad de la distancia que los separa. La figura 3 ilustra el caso e indica los elementos medidos.
- c) Los elementos que corresponde medir en el sistema poligonal se muestran en la figura 4. La posición de los puntos 021; 022; 023 y 024 no exige condiciones especiales.

En todos los casos las observaciones se efectuaron sobre torres North, en los puntos nuevos, y sobre torres de hierro IGM en los puntos de primer orden.

**Reconocimiento:** Los proyectos se volcaron sobre un mosaico fotográfico, comprobándose en el terreno la posición relativa de los puntos y la calidad de las visuales; fue suficiente trabajar con alturas de torres entre 12 y 15m.

**Medición angular acimutal:** Se llevaron a cabo según el método de Schreiber, obteniéndose resultados satisfactorios cuando la velocidad del viento era inferior a 3 m/s.

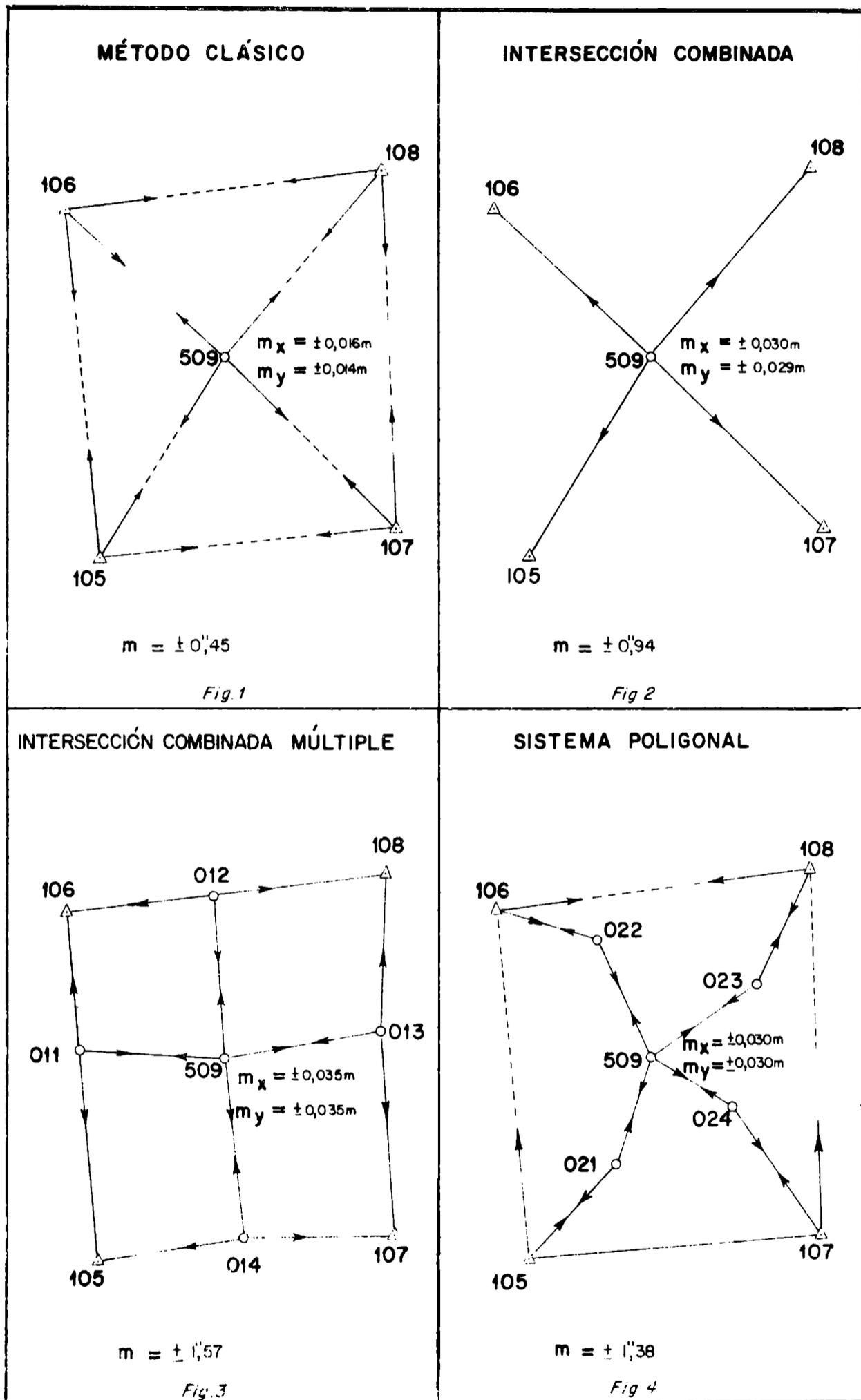
**Medición angular cenital:** En todos los casos en que se observaron ángulos horizontales, se midieron asimismo los verticales.

El objeto fue determinar los desniveles, al solo efecto de reducir los lados medidos al horizonte y al nivel del mar.

**Medición Lineal:** Las distancias fueron medidas con el telurómetro MRA 3. Las operaciones pudieron cumplirse durante todo el día, favoreciendo así la organización del trabajo.

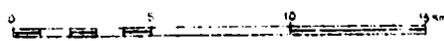
**Centración, señalización y pilares de acimut:** La determinación de los elementos de centración debió ser cumplida en cada oportunidad en que se ocupó una torre North. Las bisecciones en las mediciones angulares fueron efectuadas sobre señales emplazadas en la plataforma de observación de la torre North, siendo propósito del IGM construir un suplemento que permita colocar la señal sobre la torre exterior, centrada sobre la marca, para observaciones simultáneas.

Todos los puntos incorporados se acompañaron del respectivo pilar de acimut.



REFERENCIAS

- PT de primer orden:  $\triangle$
- PT de segundo orden:  $\circ$
- Línea medida
- > Dirección medida



RESUMEN DE RESULTADOS

PUNTO	m	y	m <sub>y</sub>	P <sub>y</sub>	x	m <sub>x</sub>	P <sub>x</sub>
1 Método clásico							
509	± 0", 45	9999, 314m	± 0, 014m	1056	10000, 270m	± 0, 016m	812
2-Intersección combinada							
509	± 0", 94 (0, 047m a 10km)	9999, 259m	± 0, 029m	1027	10000, 150m	± 0, 030m	996
3- Intersección combinada múltiple							
011		2466, 422m	± 0, 038m	1734	11150, 481m	± 0, 036m	1909
012	± 1", 57	9998, 877	0, 036	1918	18642, 911	0, 038	1681
013		18169, 179	0, 040	1514	11007, 508	0, 039	1596
014	(0, 076m a 10km)	10304, 123	0, 034	2134	696, 542	0, 037	1779
509		9999, 267	0, 035	2043	10000, 332	0, 035	1976
4- Sistema poligonal							
021		7837, 427m	± 0, 031m	1993	4652, 205m	± 0, 032m	1915
022	± 1", 38	7569, 203	0, 027	2615	16353, 785	0, 030	2186
023		15762, 138	0, 031	1984	13459, 934	0, 030	2177
024	(0, 067m a 10km)	14045, 942	0, 032	1825	7340, 806	0, 032	1901
509		9999, 278	0, 030	2107	10000, 291	0, 030	2174

### 3 Cálculo.

Los cálculos preliminares comprendieron las siguientes operaciones: compensación de los ángulos en cada estación, corrección de las distancias por la influencia de las condiciones meteorológicas, reducción de los mismos al horizonte y al nivel del mar, reducción de ángulos y distancias al plano de proyección, correcciones por excentricidad.

La compensación se resolvió por el método de variación de coordenadas.

#### Resultados

Del desarrollo del trabajo puede extraerse una serie de experiencias y conclusiones que exponemos a continuación.

Para las tareas de **reconocimiento** es conveniente no sobrepasar de 12 a 15 m las alturas de las torres, para favorecer la medición angular. El traslado y la erección de las torres livianas resultó una operación rápida.

En lo que respecta a la **medición angular** deberá procurarse una mayor estabilidad de la torre North para aumentar sus posibilidades de utilización.

Respecto a la **medición lineal** resulta conveniente tomar las siguientes precauciones.

- a) Controlar la correcta emisión y modulación de las señales.
- b) Verificar el comportamiento de barómetros y termómetros.
- c) Efectuar las lecturas en los instrumentos meteorológicos con el mayor cuidado.
- d) Contrastar los instrumentos electrónicos al iniciar y al finalizar el trabajo.

Con relación al último punto conviene recordar la necesidad de la fijación de una base de contraste, no sólo para estos equipos, sino también para los de primer orden. Tener presente la Resolución N° 8 del Comité de Geodesia del IV Congreso Nacional de Cartografía.

En el **cálculo de compensación** es necesario tener presente que se trabaja con un sistema mixto de unidades, las resultantes de la medición de las distancias y de los ángulos. Corresponde, entonces, introducir una relación correcta de pesos y reducir los términos independientes de las ecuaciones de error a la misma unidad (segundos o radianes).

En nuestro caso adoptamos como base una distancia de 10 km (promedio de los lados medidos) con un error de 10 cm que angularmente corresponde a 2''

Los errores medios de las coordenadas de los puntos se muestran en la planilla de resultados.

Para la **organización de la comisión** prevemos la siguiente composición:

- a) **Personal:** tres técnicos, un capataz, cinco o seis peones y dos choferes.
- b) **Instrumentos básicos:** dos teodolitos de 0,2 tres instrumentos electrónicos de medición de distancias, dos teodolitos de reconocimiento, tres equipos de radio de corto alcance.
- c) **Vehículos:** Una camioneta adaptada al transporte de la torre y dos camiones.
- d) **Torres:** cinco de 15 m, suponiendo que se encuentren montadas las torres en los puntos de primer orden.

Para una comisión como la prevista en el párrafo anterior puede estimarse un rendimiento promedio de 9 puntos por mes (dos figuras).

El gasto ocasionado por las operaciones de campaña resulta sensiblemente bajo. Se aprecia que el costo de cada punto se reducirá, respecto del método actual, en algo más del 70%. Téngase en cuenta, además, que en los casos de las figuras 3 y 4 se agregan cuatro puntos en cada cuadrilátero.

## 5 Conclusión

En definitiva puede expresarse, que cualquiera de los métodos que se elija, es una solución favorable para la triangulación de segundo orden. La decisión en la elección del método estará definida por las necesidades particulares de cada caso.

**La intersección combinada múltiple**, no sólo cumple con esa finalidad, sino que también proporciona la longitud de los cuatro lados de cada cuadrilátero de primer orden, o de los tres lados si son triángulos simples, elementos nada despreciables para aumentar la precisión de la triangulación fundamental.

## INVESTIGACION SOBRE LA PRECISION DE LA TRIANGULACION FUNDAMENTAL

ESTEBAN HORVAT  
Instituto Geográfico Militar

Los análisis teóricos y la experiencia han mostrado que la triangulación fundamental argentina, consistente en cadenas de cuadriláteros o triángulos en cada grado par de latitudes y longitudes, aunque satisfactoriamente precisa en los elementos medidos, no asegura la alta precisión que generalmente se suponía para las coordenadas de los puntos. Esto, manifestado también en otros países, se debe al gran error longitudinal que es una consecuencia de la estructura del sistema fundamental, y solamente puede subsanarse mejorando esta estructura.

Con el fin de tener una prueba evidente en ese sentido, el Instituto Geográfico Militar, en colaboración con el Army Topographic Command (EE. UU.), ha realizado una investigación compensando las unidades 3H y 4H por dos procedimientos: a) Método clásico, conservando fijas las posiciones de los puntos fundamentales; b) El sistema en conjunto, sin posiciones fijas.

Los resultados muestran que, en la primera compensación, las correcciones angulares superan mucho la precisión de las observaciones, mientras que, en la segunda, la satisfacen aproximadamente.

**Theoretical analysis and experience have shown that the argentinian basic network —chains of triangles or quadrilaterals through every even latitude and longitude point— do not assure the high precision generally assumed for the point coordinates in spite of its being satisfactorily accurate in their measured elements. This fact, also observed in other countries, evolves from the fundamental system structure and therefore it may only be eliminated improving the structure. In order to obtain a definitive evidence about it the Instituto Geográfico Militar and the Army Topographic Command (USA) coordinated facilities to carry out a research by adjusting units 3H and 4H following two methods: a) The classic one, keeping the positions of fundamental points fixed; b) the system as a whole, without fixed positions.**

**Results show that applying the first method, the angular corrections much exceed the precision of the observations whereas they approximately satisfy it when the second method is used.**

1. La triangulación fundamental argentina, como es bien conocido, está constituida por cadenas proyectadas a lo largo de meridianos y paralelos de graduación múltiplo de dos. En cada intersección de cadenas se determina una base por medición directa y un punto de Laplace. Hasta el año 1959 un punto de Laplace se determinaba también aproximadamente en la mitad de los tramos meridianos, lo que se ha suspendido por razones económicas. En la época actual regularmente se mide una base en el medio de los tramos. Por regla general las cadenas se componen de cuadriláteros con dos diagonales; en algunos casos aislados, se reemplaza tal cuadrilátero con otras figuras, con un punto central. Solamente la parte del sistema fundamental que pertenece al Arco de Meridiano Argentino, representa una cadena de triángulos simples.

Las superficies dentro de los cuadriláteros de cadenas fundamentales, se cubren posteriormente en forma sistemática con la red secundaria de 1er. orden, llamada malla. Es claro que el sistema de una malla tiene que sufrir un forzamiento por las posiciones fijas de los puntos periféricos del sistema fundamental.

En consecuencia, la triangulación argentina de 1er. orden tiene dos partes esenciales: las cadenas fundamentales y las mallas. La primera parte representa un sistema libre sin condiciones forzadas, excepto las que tienen su origen en las bases fundamentales y en los puntos de Laplace. Al contrario el sistema secundario tiene un número considerable de condiciones forzadas, originadas por las posiciones invariables de los puntos fundamentales. La malla sin tener en cuenta las condiciones matemáticas, tiene alrededor de 60 a 80 condiciones forzadas.

## 2

Al empezar la triangulación fundamental según la Ley de la Carta, se planeaba resolver la densificación de triangulación en las mallas, dividiendo las mismas por cadenas secundarias en el sentido de los paralelos y meridianos, y cubriendo los vacíos restantes con las pequeñas redes de 4 a 5 puntos de relleno. La experiencia en la realización de esta solución, tenía las siguientes dificultades:

- a. El reconocimiento y elección de puntos de cadenas secundarias tropezaba con el inconveniente de ser obligatoria una determinada posición de estos puntos.
- b. Los vacíos restantes, de pequeña superficie, tenían en su periferia forzamientos demasiado grandes. Se hacía imposible la distribución razonable de los errores causados por estos forzamientos.

Con el fin de eliminar estas dificultades, se han suprimido las cadenas secundarias y se ha aceptado la solución actual, es decir, la malla con una red completa sin forzamientos internos. Esta es indudablemente una solución mejor en todo sentido, aunque más complicada en cuanto a la compensación de la malla.

La primera unidad a la que se ha aplicado una compensación correcta y rigurosa, es la malla 4H. En esa época se utilizaban las cadenas secundarias. Los cuatro tramos de éstas se han compensado en conjunto tomando en consideración todas las condiciones forzadas. Los resultados en cuanto a magnitud de errores, han mostrado que estos son mayores de lo que se esperaba del análisis de las condiciones geométricas, pero aceptables si se consideran los forzamientos causados por las posiciones invariables de los puntos fundamentales. Empero, en la compensación de los puntos restantes, en particular en el cuarto sudeste, se han evidenciado errores de direcciones de hasta 6", lo que resulta inaceptable frente a la precisión con que se realizaron

las mediciones, tanto en el sistema fundamental como así también en el secundario. En el primer momento este resultado se ha interpretado solamente como una consecuencia comprensible de los inconvenientes del planteo de cadenas secundarias. En consecuencia, se han suprimido estas cadenas y aceptado la solución actual.

Como se ha mostrado con las experiencias posteriores, en particular con la unidad 4E, el inconveniente no era solamente por esta causa. También al compensar las mallas como unidades homogéneas los errores procedentes de la compensación resultaron mayores, a veces inesperadamente superiores de lo que podría esperarse en comparación con la precisión real de observaciones y con el forzamiento supuesto de los puntos fundamentales. Los análisis y estudios realizados, indican que estos fenómenos tienen su raíz en los inconvenientes estructurales de la misma triangulación fundamental.

### 3

Estas experiencias y las inquietudes originadas, no son problemas típicamente argentinos. También en otros países, con la triangulación fundamental de esta forma, se conocen problemas de naturaleza similar.

Son conocidos por ejemplo, los inconvenientes que surgieron en Yugoslavia, cuando se empezaron a rellenar los vacíos relativamente pequeños en la vieja triangulación Austro-húngara. Allí hubo errores de direcciones que superaron los 10". Sin embargo, cuando se realizó la compensación del sistema viejo y de relleno en forma conjunta, los inconvenientes desaparecieron y los errores residuales correspondieron casi por completo a la precisión original de observaciones.

Son conocidas también las dificultades que surgieron cuando Suiza quiso intercalar su triangulación de 1er. orden en la red europea, compensada después de la segunda guerra mundial.

Una prueba convincente se ha obtenido en el Instituto Geográfico Militar (IGM) mediante el estudio teórico del valor real de las cadenas de triángulos y de su comparación con la trilateración.

La investigación se ha hecho sobre la siguiente idea fundamental; Si analizamos un sistema trigonométrico, lo fundamental, desde el punto de vista práctico, es conocer la precisión con que ha sido fijado un punto, determinado por ejemplo, mediante una cadena de triángulos o triláteros. Para mayor claridad, tiene que considerarse su error longitudinal —en el sentido de la dirección de cadena— y su error transversal, en el sentido perpendicular a esta dirección.

El análisis en este sentido lleva a las siguientes conclusiones:

- 1 En la triangulación, el incremento de errores de lados por propagación de errores angulares, muestra una tendencia acumulativa. Esto es comprensible si se considera que un lado en mitad de cadena, es una función de un par de ángulos de cada uno de los triángulos considerados a partir de cualquiera de los extremos de la misma. En consecuencia, el error en sentido longitudinal tiene una tendencia perjudicial y como resultado lógico puede aparecer un error en el punto final y en esta dirección. Este error puede ser relativamente muy grande, de 1 a 2 m. si el error medio angular está dentro de  $\pm 0'', 5$ .

Por el contrario, el error transversal, por no depender prácticamente de los lados y de sus errores, no está sometido a esta tendencia de acumulación. Generalmente es una simple función de errores angulares y corresponde a una propagación nor-

mal de errores. Agregando aquí la influencia positiva de un acimut conocido en el final de la cadena (proporcionado por la ecuación de Laplace), resulta que el error transversal se mantiene dentro de límites aceptables y de acuerdo con la precisión de las observaciones.

- 2 En la trilateración aparece el fenómeno contrario en función de su estructura y de la naturaleza de los datos medidos.

Aquí el error transversal tiene un inconveniente parecido al que sufre el error longitudinal en la triangulación y, en consecuencia, en el final de la cadena resulta demasiado grande e inaceptable, si no se miden los ángulos de una poligonal de puntos en el sentido longitudinal. Por otra parte, el error longitudinal en la trilateración queda en los límites de la propagación normal de errores y su magnitud es completamente aceptable.

## 4

Ahora conviene hacer un análisis crítico de la teoría de errores, de las fórmulas para los errores medios y también de la misma compensación de sistemas trigonométricos.

Todas estas teorías parten de una suposición: el carácter accidental de los errores de medición. ¿Qué ocurre y que consecuencias se originan, si esta suposición no se cumple? . Esta pregunta tiene una gran importancia y las consecuencias, si la respuesta resulta negativa, pueden ser muy desagradables.

Los errores de observación, como es sabido, dependen entre otras causas de condiciones de ambiente, las que varían permanentemente. En cuanto a lo que a estos respecta, tenemos que aceptar un hecho indudable: ellos dependen de causas internas (instrumentos y observador) y de externas (las circunstancias dominantes en el período de observación).

Solamente en una serie de observaciones, hechas en un período largo de tiempo, pueden manifestarse todas las variaciones posibles de circunstancias externas y, en consecuencia, podría en este caso suponerse que los errores —aunque ahora mayores— conservan suficientemente su carácter accidental. Al contrario, las observaciones hechas en un período relativamente corto (por ejemplo 2 ó 3 días), siempre pueden sufrir y sufren la influencia de las circunstancias existentes, que con toda probabilidad pueden tener una influencia unilateral y por eso sistemática.

De esto resulta que nuestras observaciones que se realizan en períodos breves, conservan sin duda alguna, parte de estas influencias sistemáticas y, en consecuencia, los errores no son puramente accidentales, por lo que tenemos que reconciliarnos con la existencia de errores sistemáticos y buscar la disminución de la influencia negativa de los mismos, ya sea por medio de una nueva estructura del sistema, o mediante el cambio de los métodos y técnicas de observación.

En el caso concreto una ayuda estructural sería reemplazar las cadenas trigonométricas por redes completas y sin vacíos. Esto no es tampoco posible para un país de extensión tan grande como la República Argentina. No tanto por lo irrealizable de esta solución, como por los inconvenientes puramente prácticos. No es posible esperar el cierre del último triángulo para tener el sistema fundamental de apoyo geodésico.

Dada la existencia de errores sistemáticos, resulta que, por la teoría de errores, los errores medios del promedio en particular, no son siempre una medida fidedigna de la precisión real de una serie de observaciones.

Si esto es así, conviene considerar con una precaución razonable los análisis que se hacen experimentalmente (sobre la base de observaciones realizadas de la precisión de una serie de observaciones).

## 5

Estas reflexiones y suposiciones, hechas sobre la base de consideraciones teóricas o deducidas de resultados iniciales, necesitan una confirmación basada en un ejemplo concreto y suficientemente amplio. Con este fin se han elegido las unidades 3H y 4H, caracterizada la primera por un acuerdo aceptable entre el sistema fundamental y el intercalado (malla 3H), y la segunda por una discrepancia acentuada entre el marco fundamental y el sistema intercalado (malla 4H).

En las unidades 3H y 4H tenemos:

1. 125 puntos de cadenas fundamentales.
  2. 39 puntos en la malla 3H
  3. 38 puntos en la malla 4H
- 

202 puntos en total.

En la compensación por coordenadas se necesita formar y resolver el siguiente número de ecuaciones normales:

En el sistema fundamental	233	(descontadas las condiciones fijas)
En la malla 3H	78	
En la malla 4H	76	

Esto significa que para compensar el sistema fundamental e intercalado en conjunto, tiene que resolverse un sistema de 387 ecuaciones normales. --

Como en el momento de emprender este estudio el Instituto Geográfico Militar no tenía posibilidades prácticas para realizar el cálculo respectivo, se ha recurrido a la ayuda del U. S. Army Topographic Command, el que se ha encargado de realizar este cálculo.

La compensación se ha hecho de la siguiente manera:

- A.1 Compensación del sistema fundamental, consistente en 7 tramos de cadenas (6 de cuadriláteros de dos diagonales y 1 de triángulos) con 9 puntos de Laplace y 6 bases fundamentales. Este sistema figura como un sistema libre sin condiciones forzadas excepto las que resultan de las ecuaciones de Laplace y las bases fijas (15 condiciones).
- A.2 Compensación de la malla 3H, sobre la base de las posiciones invariables de los puntos fundamentales.
- A.3 Compensación de la malla 4H sobre la misma base que la 3H.
- B Compensación de todo el sistema, considerando las cadenas fundamentales y las mallas como una unidad homogénea, es decir, sin ninguna posición forzada.

En adelante llamaremos al primer conjunto de compensación: compensación A.

El análisis y el estudio de los resultados obtenidos se han realizado bajo los siguientes aspectos:

- a Desplazamiento de puntos originados por la compensación B, comparándolo con la compensación A.
- b Comparación de correcciones (o errores) de observación de ambas compensaciones.

En cuanto al primero como se suponía —basándose en los estudios teóricos— el movimiento tenía que corresponder al error longitudinal como el más probable. Respecto al segundo se esperaba en la B mejor acuerdo con la precisión de las observaciones que en la compensación A.

Las suposiciones se han cumplido realmente.

En el **grafico 1** mediante vectores se representan los desplazamientos de los puntos.

Se observa que:

- a En la cadena 5 predomina el desplazamiento Norte-Sur, lo que corresponde a la dirección de cadena casi completamente.
- b En todas las otras partes predomina el desplazamiento Oeste-Este.
- c En el sector centro y sur de la malla 4H, la dirección y sentido de estos vectores no se manifiestan tan claramente; se produce una variación paulatina de los mismos, de la posición Oeste-Este a la Norte-Sur.
- d Se observa que en la malla 3H predomina un desplazamiento bastante uniforme (Oeste-Este). Con este hecho se confirma lo mencionado anteriormente: que en ésta, el acuerdo entre la parte fundamental y la intercalada es bastante aceptable. Al contrario, en la 4H, la dirección y magnitud del desplazamiento es la consecuencia del desacuerdo ya destacado.

En el **gráfico 2** presentamos para algunos triángulos del sistema total los siguientes tres valores característicos:

- 1 El error promediado de un ángulo de la compensación A (\*).
- 2 El mismo error de la B.
- 3 El error de cierre del triángulo.

Se observa claramente que estos errores son considerablemente mayores en la compensación A que en la B. También se observa que los errores promediados de la B corresponden mejor a los errores de cierre. En particular, si los últimos son mayores, el error promediado de B casi corresponde a un tercio del error de cierre. Este hecho es de por sí positivo, ya que representa un indicio de que un mayor error de cierre no origina la propagación del error y se compensa dentro del mismo triángulo.

## 6

En las planillas 1, 2 y 3 analizamos más detalladamente los resultados de las dos compensaciones, en cuanto a las correcciones angulares.

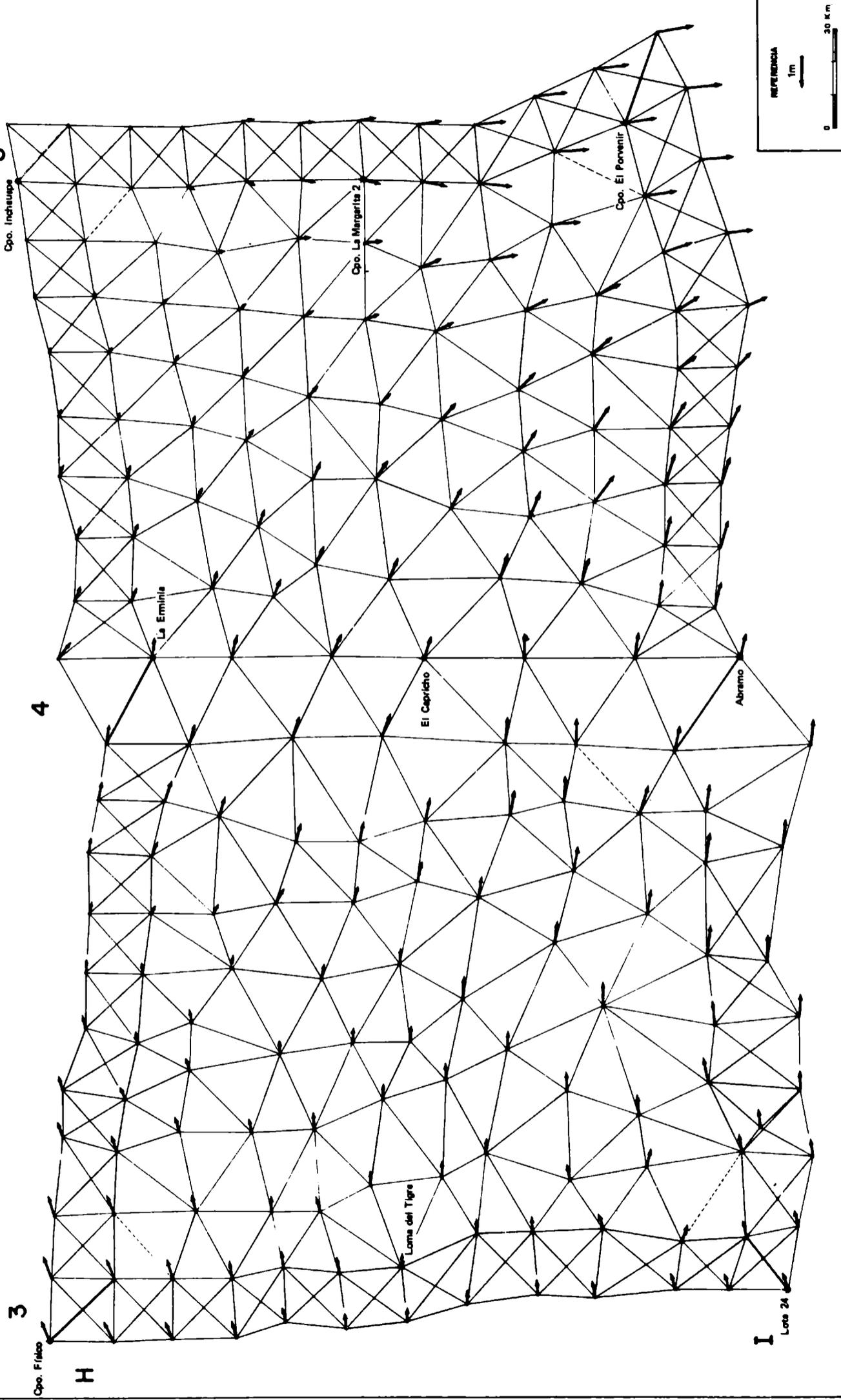
En la **planilla 1** consideramos las correcciones según su magnitud y frecuencia, para el sistema total, de la siguiente manera:

- 1 Correcciones promediadas deducidas de los errores de cierre, ordenadas según el intervalo  $0''$  , 5.

(\*) Error promediado de un ángulo es el simple promedio de las tres correcciones (sin considerar el signo) de los ángulos que forman el triángulo.

GRAFICO N° 1

DESPLAZAMIENTO DE LOS PUNTOS POR LA COMPENSACIÓN B





SISTEMA TOTAL

PLANTILLA 1

Magnitud	De	a	Correcciones de- ducidas de los errores de cierre		Correcciones promediadas				Correcciones verdaderas			
			Nº de triángulos	%	Compensación A		Compensación B		Compensación A		Compensación B	
					Nº de triángulos	%	Nº de triángulos	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%
0,0	0,5		363	82,13	230	52,04	267	60,41	750	56,56	831	62,67
0,5	1,0		73	16,51	114	25,79	162	36,65	294	22,17	379	28,58
1,0	1,5		6	1,36	59	13,35	13	2,95	121	9,13	92	6,94
1,5	2,0				29	6,56			89	6,71	17	1,28
2,0	2,5				10	2,26			39	2,94	7	0,53
2,5	3,0								18	1,36		
3,0	3,5								10	0,75		
3,5	4,0								2	0,15		
4,0	4,5								2	0,15		
más que 4,5									1	0,08		
Corrección media			± 0,41		± 0,85		± 0,54		± 0,97		± 0,61	
Corrección promediada			± 0,28		± 0,66		± 0,47		± 0,68		± 0,49	

- 2 Correcciones promediadas deducidas del promedio simple para cada triángulo, ordenadas según el mismo intervalo y para ambas compensaciones.
- 3 Correcciones verdaderas de ángulos con igual intervalo y compensación A y B. Para cada intervalo y grupo tenemos la frecuencia (en 1 y 2 el número de triángulos, y para 3 el número de ángulos) y además el porcentaje de cada grupo. Los errores medios son los siguientes:

Error medio deducido		para $\bar{n}$ ángulo	para una dirección
1 de los errores de cierre		$\pm 0'',41$	$\pm 0'',29$
2 de las correcciones promediadas	A	$\pm 0'',85$	$\pm 0'',60$
	B	$\pm 0'',54$	$\pm 0'',38$
3 de las correcciones verdaderas	A	$\pm 0'',97$	$\pm 0'',69$
	B	$\pm 0'',61$	$\pm 0'',43$

Se observa que el error medio de una dirección en la compensación B es  $\pm 0'',43$ , lo que coincide muy bien con el valor obtenido hasta ahora en la compensación de nuestra triangulación fundamental. Destacamos este hecho porque en la compensación B intervienen también las observaciones correspondientes a las mallas, las que según una suposición razonable pueden ser menos precisas que las cadenas fundamentales.

De todo el análisis resulta que las partes más críticas de este conjunto están representadas por el tramo correspondiente a la cadena 5 y la malla 4H. Por esta razón hemos hecho el análisis separado para estas dos partes.

En la **planilla 2** tenemos los errores en el tramo de la cadena 5, ordenadas con un intervalo de  $0''$  1 según la frecuencia y porcentaje. La compensación A, naturalmente, tiene mayor frecuencia de errores pequeños que la compensación B, pero la corrección media de la B ( $\pm 0''$ , 50 para un ángulo, ó  $\pm 0''$ , 35 para una dirección) es menor que el error medio general de la triangulación fundamental. Este hecho habla en forma muy clara en favor de la tesis mencionada, de que también dentro de los límites de la alta precisión angular la propagación o acumulación de errores puede originar un desplazamiento de las posiciones de los puntos en dirección longitudinal.

CADENA 5

PLANILLA 2

Magnitud		Compensación A		Compensación B	
de	a	Frecuencia	%	Frecuencia	%
0,0	0,1	26	19,70	22	16,67
0,1	0,2	32	24,24	25	18,94
0,2	0,3	27	20,45	21	15,91
0,3	0,4	20	15,15	13	9,85
0,4	0,5	10	7,58	11	8,33
0,5	0,6	9	6,82	13	9,85
0,6	0,7	4	3,03	6	4,55
0,7	0,8	3	2,27	5	3,79
0,8	0,9	1	0,76	4	3,03
0,9	1,0			3	2,27
1,0	1,1			2	1,52
1,1	1,2			3	2,27
1,2	1,3			2	1,52
1,3	1,4			2	1,52
Corrección media		$\pm 0''$ ,33		$\pm 0''$ ,50	
Corrección promediada		$\pm 0$ ,27		$\pm 0$ ,39	

En la **planilla 3** tenemos igual análisis para la malla 4H. Las correcciones son ahora ordenadas con intervalos de 0'', 2 según su frecuencia y porcentaje. Se observa que en las dos compensaciones figuran las correcciones:

de 0'' a 1''	en A 135 veces;	en B 258 veces.
de 1'' a 2''	111	42
de 2'' a 3''	44	3
de 3'' a 4''	11	—
de 4'' a 5''	2	—

Las correcciones tan grandes en la compensación A pueden justificarse solamente con los forzamientos de posiciones fijas de los puntos fundamentales. En cuanto a la compensación B, las correcciones, según sus magnitudes y frecuencia, están de acuerdo con la precisión real de las observaciones.

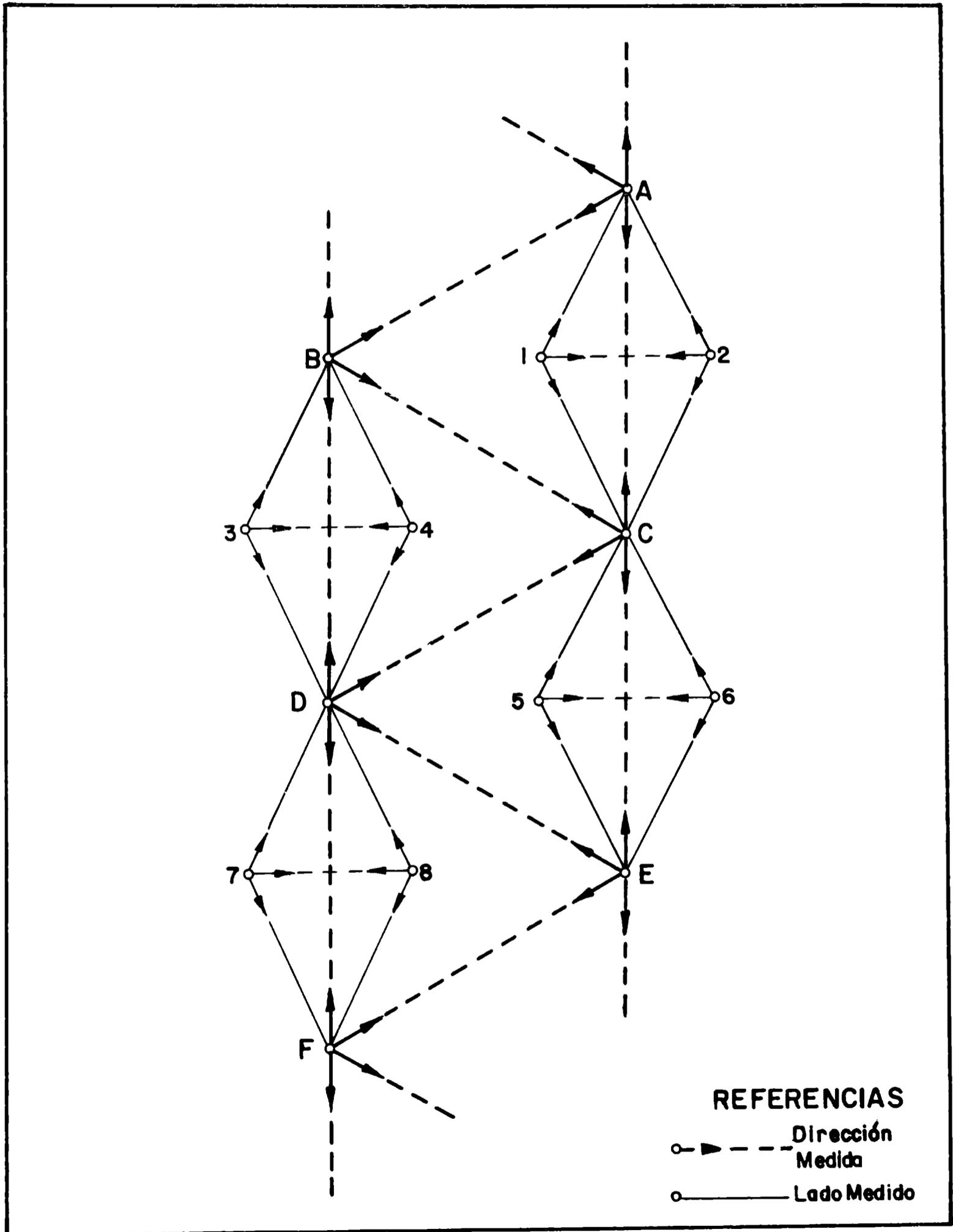
Es interesante que la corrección media de  $\pm 0'' 69$  para el ángulo y  $\pm 0'' 49$  para la dirección, en la compensación B, se encuentra muy cerca de la precisión de la triangulación fundamental, mientras que en la A, con  $\pm 1'' 56$  y  $\pm 1'' 10$  respectivamente, de ninguna manera corresponden a la precisión real de las observaciones.

MALLA 4 H

PLANILLA 3

Magnitud		Compensación A		Compensación B	
de	a	Frecuencia	%	Frecuencia	%
0,0	0,2	30	9,90	74	24,42
0,2	0,4	25	8,25	58	19,14
0,4	0,6	31	10,23	58	19,14
0,6	0,8	22	7,26	36	11,88
0,8	1,0	27	8,91	32	10,56
1,0	1,2	19	6,27	23	7,59
1,2	1,4	22	7,26	11	3,63
1,4	1,6	21	6,93	6	1,98
1,6	1,8	22	7,26	1	0,33
1,8	2,0	27	8,91	1	0,33
2,0	2,2	14	4,62	2	0,66
2,2	2,4	15	4,95		
2,4	2,6	3	0,99	1	0,33
2,6	2,8	4	1,32		
2,8	3,0	8	2,64		
3,0	3,5	7	2,31		
3,5	4,0	4	1,32		
4,0	4,5	1	0,33		
4,5	5,0	1	0,33		
Corrección media		$\pm 1,56$		$\pm 0,69$	
Corrección promediada		$\pm 1,28$		$\pm 0,55$	

Gráfico N° 3



**REFERENCIAS**

- ——— Dirección Medida
- ——— Lado Medido

Todos los análisis, deducidos de las investigaciones teóricas o de las pruebas prácticas, confirman sin duda alguna, que la triangulación fundamental formada por las cadenas tiene un grave inconveniente estructural. Este puede originar, y origina efectivamente en muchos casos, un error longitudinal también con observaciones suficientemente precisas. Esta deficiencia estructural puede subsanarse solamente corrigiendo la estructura del sistema fundamental.

Con el reemplazo de la triangulación por trilateración el problema no se resuelve, ya que la última, por sus inconvenientes estructurales, tiene un defecto aún mayor: el error transversal demasiado grande y una falta de ecuaciones de condición.

De las características particulares de ambos métodos (uno tiene el error longitudinal grande y, el otro, el transversal) nace una idea natural: **la combinación de ambos tiende a eliminar todos los inconvenientes estructurales**. La triangulación combinada con la medición de lados en el sentido longitudinal de las cadenas, conserva el error transversal y disminuye el longitudinal satisfactoriamente.

En consecuencia, la triangulación fundamental argentina puede reforzarse con la medición de los lados. Las posibilidades actuales (instrumentos modernos) hacen realizable esta operación sin un aumento de gastos generales. Si se reemplazan las cadenas de cuadriláteros por las de triángulos, los gastos de la medición mencionada de lados se cubrirían con el ahorro obtenido por este reemplazo. Teniendo un sistema fundamental reforzado puede resolverse el problema de densificación dentro de las mallas, por ejemplo con la red poligonal de precisión. Esta posibilidad, realizable solamente con las cadenas reforzadas, significa un ahorro de tiempo y aún mayor de dinero.

Conviene realizar la medición de los lados de tal manera que esta operación, al mismo tiempo, sirva para simplificar la densificación de la red fundamental. Una solución en este sentido se presenta en el **grafico 3**. Aquí se prevé medir los lados en el sentido longitudinal, en forma indirecta, mediante la observación de ángulos y lados en los puntos de segundo orden 1 y 2, 3 y 4, etc. Según los análisis teóricos el error medio de los lados AC, BD, CE, etc, es de  $\pm 0,06$  a  $\pm 0,10$  m. mientras que los errores producidos en los valores de las coordenadas de los puntos 1 y 2, 3 y 4, etc. son de  $\pm 0,06$  m. Ambas precisiones pueden considerarse aceptables para los fines previstos.

Sin embargo, no insistimos en esta solución exactamente. Lo que tenemos que considerar como obligatorio es lo siguiente: las cadenas fundamentales tienen que reforzarse mediante la medición de lados, si se quiere tener en la triangulación fundamental una base segura para formar el sistema suficientemente preciso de los puntos de apoyo geodésico. La forma como tiene que realizarse esta operación es el problema a estudiar, en cuanto a la organización, costos y posibilidades, pero lo esencial es que ella es una necesidad inevitable.

## DISCUSION DE LAS CONDICIONES DE CRECIMIENTO DE GRANIZOS NATURALES

L. LEVI, E. M. de ACHAVAL, L. LUBART  
Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas;  
Servicio Meteorológico Nacional

**Se interpretan las determinaciones de List et al. en granizos naturales, según conclusiones de Levi & Aufdermar. Las muestras presentan una pronunciada simetría de capas opacas y transparentes, en forma alternada. Se concluye que:**

- 1 En algunas capas, la orientación preferencial de los cristales indica crecimiento seco. En otras se observa una distribución uniforme, lo que puede atribuirse a zonas de transición o, simplemente, a inhomogeneidades localizadas.**
- 2 La transición de cristales grandes y transparentes, a pequeños y opacos, y viceversa, parecen debidas a variaciones periódicas del contenido de agua líquida.**
- 3 La orientación preferencial de los cristales, en las distintas capas y las fáciles fluctuaciones del cambio opaco-transparente-opaco, llevan a ubicar la temperatura de la zona de crecimiento en la nube, en valores próximos a  $-18^{\circ}$  C.**

**The measurements made by List et al. on natural hail are explained, using the conclusions of Levi & Aufdermar. The samples analyzed show a pronounced symmetry of alternating opaque and transparent layers. We conclude:**

- 1 In some layers the preferential crystal orientation indicates dry growth. In others the distribution is uniform which could be due to a zone of transition or only to local inhomogeneities.**
- 2 The transition from big transparent crystals to small opaque ones and viceversa, seems to be caused by periodic changes in liquid water content.**
- 3 The preferential crystal orientation in the layers and the easy change from opaque to transparent and from transparent to opaque, lead us to assign a temperature near  $-18^{\circ}$  C to the zone of accretion in the cloud.**

Cuando gotas sobreenfriadas, a temperatura  $T_a$ , inciden sobre una piedra de granizo cuya superficie se encuentra a temperatura  $T_s$ , la solidificación se produce en dos etapas. En la primera, el hielo crece rápidamente a expensas del sobreenfriamiento y, simultáneamente, la temperatura  $T_a$  se eleva a  $0^\circ\text{C}$ . Esta etapa produce láminas dendríticas que se desarrollan en el plano basal para  $T_a$  próxima a  $0^\circ\text{C}$ . A temperaturas  $T_a$  inferiores a  $0^\circ\text{C}$  las dendritas forman entre sí un ángulo que crece con el sobreenfriamiento (Macklin & Rayan, 1965 — Pruppacher, 1967). A continuación se produce la congelación total del agua líquida remanente por intercambio calórico con el medio ambiente. Si esta segunda etapa, y el posterior enfriamiento de la nueva capa de hielo hasta alcanzar  $T_s$ , se producen antes de la llegada de nuevas gotas, la temperatura de superficie del granizo será inferior a  $0^\circ\text{C}$  y el crecimiento se denomina seco. En estas condiciones, el gradiente de temperatura es en general radial y la transmisión de calor se efectúa hacia el sustrato sólido y de allí se transfiere al aire (Macklin, 1967). En caso contrario,  $T_s$  será aproximadamente igual a  $0^\circ\text{C}$  y el crecimiento se denomina húmedo.

Al analizar los histogramas de  $\varphi$  (ángulo entre el eje cristalográfico  $\vec{C}$  de cada cristal (·) y la dirección de crecimiento) se encontró que, para crecimiento seco,  $\varphi$  mostraba máximos que, en general, se ubicaban en el intervalo  $0^\circ - 10^\circ$  (Levi & Aufdermaur, 1968). En condiciones de crecimiento húmedo, los máximos se encuentran en el intervalo  $80^\circ - 90^\circ$  (Aufdermaur et al, 1963).

Levi & Aufdermaur, 1970, estudian en más detalle la vinculación entre ciertos parámetros variables en el túnel de viento y las estructuras de los granizos resultantes. Utilizan  $T_a$  entre  $-2^\circ\text{C}$  y  $-24^\circ\text{C}$  y obtienen muestras en crecimiento seco y húmedo. Los resultados obtenidos por los citados autores son válidos para granizos con densidad mayor que  $0.7\text{ g/cm}^3$  y pueden sintetizarse en la siguiente forma:

- 1 **Crecimiento seco:** la orientación radial se define inmediatamente al comenzar la acreción, y los valores máximos de  $\varphi$  se desplazan del intervalo  $0^\circ - 10^\circ$  al intervalo  $40^\circ - 50^\circ$ , cuando  $T_a$  decrece de  $-2^\circ\text{C}$  a  $-24^\circ\text{C}$ .
- 2 **Crecimiento húmedo:** los máximos valores de  $\varphi$  próximos a  $90^\circ$ , se desplazan hacia los  $45^\circ$  al disminuir  $T_a$ , en sentido inverso al desplazamiento del crecimiento seco. Para  $T_a < -20^\circ\text{C}$ , los máximos de  $\varphi$  se ubican en el intervalo  $40^\circ - 50^\circ$ , para ambos tipos de crecimiento.
- 3 **Tamaño de cristales:** los autores eligen como magnitud característica la dimensión mayor, es decir, el largo  $L$  que presentan los cristales en esa sección, y los denominan grandes, medianos ó pequeños, según sea  $L > 2\text{ mm}$ ,  $2\text{ mm} > L > 0.5\text{ mm}$ , ó  $L < 0.5\text{ mm}$ , respectivamente. Analizan la distribución de tamaños en función de  $T_a$  y  $T_s$  para ambos tipos de crecimiento, concluyendo que:
  - a) Para  $0^\circ\text{C} > T_a > -15^\circ\text{C}$ , los cristales son grandes.
  - b) Para  $-15^\circ\text{C} > T_a > -20^\circ\text{C}$ , su tamaño depende de otros parámetros.
  - c) Para  $-20^\circ\text{C} > T_a > -30^\circ\text{C}$ , los cristales resultan pequeños o medianos, estos últimos solo para crecimiento húmedo.

(·) El hielo cristaliza en el sistema exagonal y se denomina  $\vec{C}$  al eje del prisma.

En un trabajo reciente, List et al., 1970, estudian la estructura de dos lotes de granizos naturales, provenientes de dos tormentas consecutivas, una de ellas sin sembrar y la otra fuertemente sembrada con IAg. En ambos lotes, los granizos estaban formados por capas sucesivas, opacas y transparentes, formadas por cristales pequeños y grandes respectivamente. Los autores nombrados numeran las capas a partir del centro, y las determinaciones se refieren a las capas correlativas de las distintas muestras; analizan la orientación de los cristales para 49 capas y trazan los histogramas de  $\varphi'$  (ángulo entre la dirección de crecimiento y la proyección del eje  $\vec{c}$  de cada cristal sobre el plano de la réplica), de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$ , con intervalo de clase de  $10^\circ$ . En ambos lotes la moda se ubica en  $-5^\circ < \varphi' < +5^\circ$ , con frecuencia modal de 9, para datos normalizados a 100 cristales. Posteriormente, clasifican las capas por su frecuencia en dicho intervalo (frecuencia modal de cada capa) y determinan la densidad de los granizos utilizando como valor de referencia  $\delta = 0.88 \text{ g/cm}^3$ . Los resultados obtenidos por List et al., 1970, pueden ser resumidos en la siguiente forma para el lote I.

<b>Capas transparentes:</b>	frecuencia modal $> 9$
	densidad $\delta > 0.88 \text{ g/cm}^3$
	tamaño entre $1.6 \text{ mm}^2$ y $7.6 \text{ mm}^2$
<b>Capas opacas:</b>	frecuencia modal $< 9$
	densidad, $0.92 \text{ g/cm}^3 > \delta > 0.82 \text{ g/cm}^3$
	tamaño $< 1.6 \text{ mm}^2$

En el lote II los valores son más dispersos y se nota especialmente una reducción en el tamaño de los cristales, hecho que se sugiere pueda ser debido a la siembra con IAg.

Tomando esencialmente en cuenta los valores de la densidad, los citados autores se inclinan a considerar que las capas transparentes corresponden a crecimiento húmedo y a identificar las opacas con crecimiento seco; aunque, como mencionan, experiencias de List aún no publicadas, están en contradicción con este hecho.

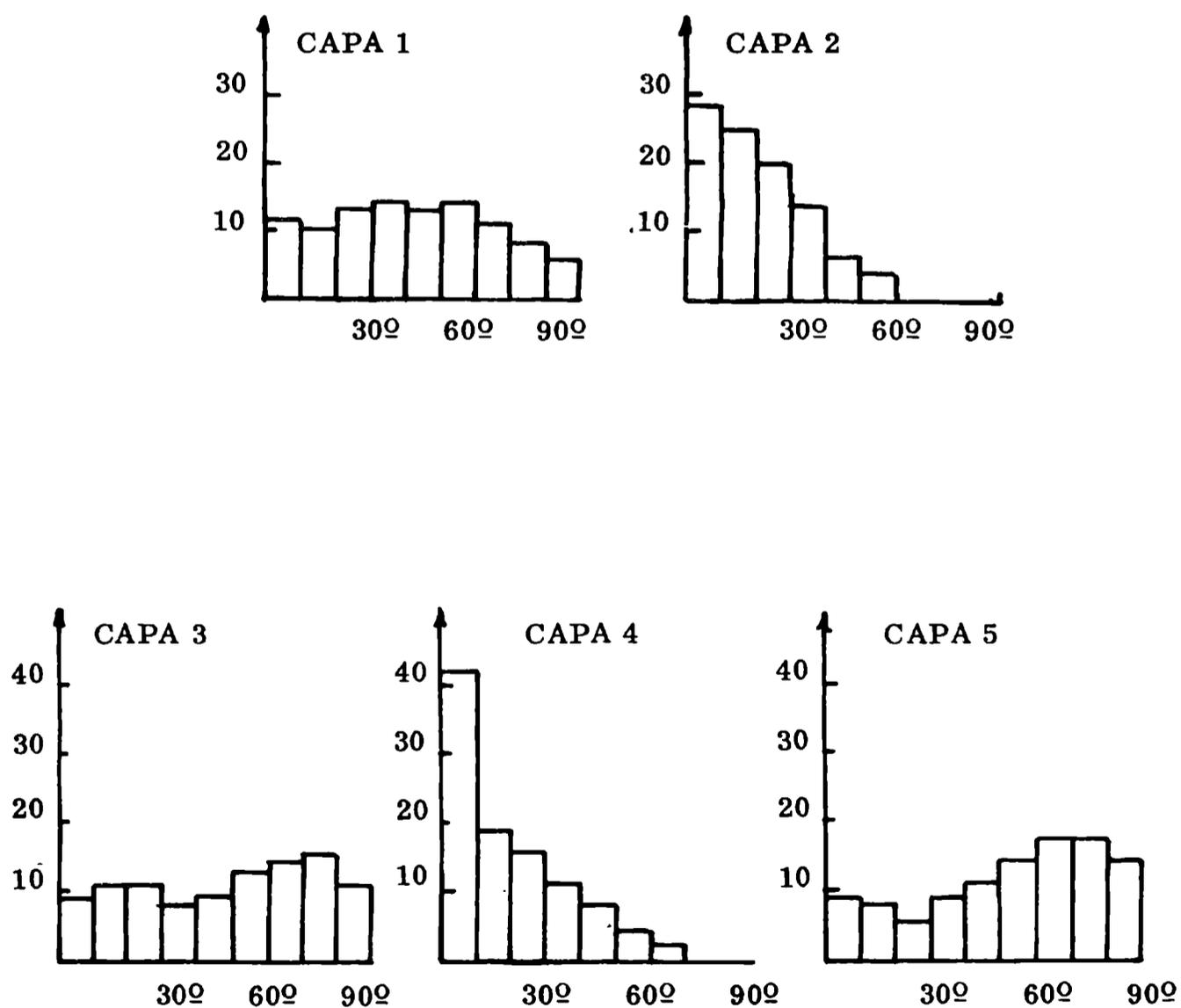
Si no se consideran los valores de la densidad como definitorios del tipo de crecimiento, las capas transparentes pueden ser identificadas tanto con crecimiento seco como con crecimiento húmedo. Surge entonces la necesidad de aplicar otro criterio para determinar el tipo de crecimiento en las distintas capas. Las conclusiones de Levi & Aufdermar, 1970, antes indicadas, permiten analizar sin contradicciones estos resultados.

Recalculando los histogramas de  $\varphi'$  de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , con intervalo de clase de  $10^\circ$  se obtienen los gráficos de la Fig. 1 para las distintas capas de un granizo que pertenece al lote I.

Se observa que, las capas 2 y 4 corresponden a crecimiento seco, las capas 1 y 3 presentan una distribución uniforme y en la capa 5 se insinúa un máximo que indicaría condiciones de crecimiento húmedo. Debe mencionarse que las capas 2 y 4 son transparentes y las 1, 3 y 5 son opacas.

Recordemos que las conclusiones de Levi & Aufdermar son aplicables a valores de  $\varphi$ , ángulo entre el eje  $\vec{c}$  y la dirección de crecimiento medido en el espacio. Los histogramas de la Fig. 1 se refieren en cambio a  $\varphi'$ , ángulo medido en el plano de la réplica y que evidentemente resulta menor que  $\varphi$ . En estas condiciones, los resultados no cambian cualitativamente, pero los máximos pueden corresponder a otros valores. En particular, se puede especificar que para  $-12^\circ \text{ C} > T_a > -20^\circ \text{ C}$ ,

los máximos de  $\varphi'$  se ubican en el intervalo  $0^\circ-10^\circ$ , mientras que los correspondientes de  $\varphi$ , lo hacen en el intervalo  $10^\circ-20^\circ$  (Levi & Achaval & Lubart, no publicado). De manera que es lógico aceptar que las capas 2 y 4 presentan las características de crecimiento seco, con  $-12^\circ \text{ C} > T_d > -20^\circ \text{ C}$ . Recordando que todas las capas transparentes presentan frecuencia modal mayor que 9 y densidad mayor que  $0.88 \text{ g/cm}^3$ , puede extenderse este resultado a la totalidad de las capas transparentes.



**Fig. 1** Histogramas de  $\varphi'$  para las 5 capas de un granizo del lote I

Coincidiendo con List et al., puede observarse que la pronunciada simetría de los cambios opaco-transparente-opaco requeriría, para otros parámetros constantes, una variación periódica de  $T_a$  mayor que  $10^\circ\text{C}$ , hecho muy poco probable. Resulta más lógico suponer variaciones significativas en el contenido de agua líquida ( $w$ ), de las corrientes ascendentes, para lo cual no se necesitan grandes desplazamientos verticales y, en consecuencia, cambios sustanciales en la temperatura del aire. Por otra parte, las capas transparentes están formadas por cristales que corresponden a los denominados grandes, y las capas opacas por pequeños. O sea que podemos aceptar que las condiciones son tales, que el tamaño de los cristales no sólo depende de  $T_a$ , sino de otros parámetros meteorológicos, en este caso de  $w$ . Esta situación se presenta a temperaturas del aire entre  $-15^\circ\text{C}$  y  $-18^\circ\text{C}$  para crecimiento seco y de  $-18^\circ\text{C}$  a  $-22^\circ\text{C}$  para crecimiento húmedo. Es decir que  $T_a$  oscila alrededor de  $-18^\circ\text{C}$ .

Asimismo, para una temperatura  $T_a$  constante, la temperatura  $T_s$  depende de  $w$ . Es decir,  $T_s$  es menor que  $-2^\circ\text{C}$  para las capas de crecimiento seco que corresponden a los menores contenidos de agua líquida. A medida que  $w$  crece, aumenta  $T_s$  y se aproxima a  $0^\circ\text{C}$ , en cuyo caso se presentan las capas de transición para pasar, en algunos casos, a capas de crecimiento húmedo. Tanto las capas de transición, como las de crecimiento húmedo, son opacas y de cristales pequeños.

En consecuencia podemos concluir que: la temperatura de la zona de crecimiento del granizo en la nube debía ser próxima a  $-18^\circ\text{C}$ ; que el crecimiento era en general seco; y que las fluctuaciones de la temperatura de superficie eran tales que ésta era más baja en la zona de cristales opacos y aumentaba en las zonas transparentes.

## B I B L I O G R A F I A

- AUFDERMAR, A. N. R. & R. LIST & W. C. MAYES & M. R. de QUERVAIN**  
1963: *Kristallachagen in Hagelkörner*; *Z. Angew. Math. Phys.*, **14**, 574-589.
- AUFDERMAR, A. N. & W. C. MAYES**, 1965: *Correlations between hailstone structures and growth conditions*; *Proc. Intern. Conf. Cloud Physics, Tokyo*, 281-285.
- LIST, R.** 1961: *On the growth of hailstones*; *Nubila*, **4**, 29-38.
- LIST, R. & J. CANTIN & M. G. FERLAND**, 1970: *Structural properties of two hailstone samples*; **27**, 1080-1090.

- LEVI, L. & A. N. AUFDERMAR, 1968: Orientation of ice crystals grown from accretion of supercooled droplets. Proc. Inter. Symp. Physics of Ice, Munich, New York Plenum Press, 620-630.*
- LEVI, L. & A. N. AUFDERMAR, 1970: Crystallographic orientation and crystal size in cylindrical accretions of ice; Jour. Atmos. Sci., 27, 443-452.*
- MACKLIN, W. C. & B. F. RAYAN, 1965: The structure of ice grown in bulk supercooled water; Jour. Atm. Sci., 22, 452-459.*
- MACKLIN, W. C. & G. S. PAYNE, 1967: A Theoretical investigation of the ice accretion process. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 93, 195-214.*
- PRUPPACHER, H. R., 1967: Growth modes of ice crystals in supercooled water and aqueous solutions; J. Glaciology, 6, 651-662.*
-

## **ANALISIS DE LLUVIAS INTENSAS EN LA REGION PEDEMONTANA, CERCANA A LA CIUDAD DE MENDOZA**

RAFFO J. M., QUINTELA R. M., MEDINA L., PLAZZA L. T.  
Servicio Meteorológico Nacional

**El objetivo del trabajo —concentrado en la cuenca del arroyo Frías, causante del aluvión que afectó la ciudad de Mendoza el 4 de enero de 1970— consiste en el cálculo de la lluvia máxima posible para la zona, lo cual involucra la determinación de series estadísticas representativas, el cálculo de probabilidad, la determinación del periodo de retorno y la caracterización temporal de la precipitación máxima. Asimismo, se encara el trazado de las curvas cantidad-duración-área, incluyendo el trazado de mapas de isohietas y su planimetría, y la formulación tentativa de un modelo para estudio de la precipitación máxima probable. Por último, se efectúan recomendaciones sobre medidas adecuadas para instalar una red observacional, el procesamiento de la información y su difusión.**

**The purpose of this research on precipitation regime—referred to Frías Creek basin where an alluvion occurred on January 4th, 1970 causing severa damages in Mendoza City— is the determination of representative statistical series, occurrence probability, return period and maximun rainfall timed characteristics. The study involves drawing of curves relating rainfall depth and duration to different areas as well as isohyetal maps with its planimetry. Formulation of a modal to study probable maximun precipitation for the area is attempted and a number of adequated recommendations are finally suggested to implement an observational network and for the processing and suitable distribution of the data.**

Con motivo del aluvión que azotó la Ciudad de Mendoza el 4 de enero de 1970, como consecuencia de la ruptura del Dique Frías, el Gobierno de la Provincia de Mendoza contrató, con una empresa especializada, el estudio integral de dicho evento, así como las medidas adecuadas para prevenir la ocurrencia de hechos similares.

Dicho estudio ha sido ya publicado por la Provincia y en el mismo actuaron, como consultores privados en el aspecto hidrometeorológico, los autores de esta comunicación.

Entendió el Instituto de Hidrometeorología del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que la ocasión era propicia para encarar el estudio de las lluvias intensas que pueden dar origen a este tipo de aluviones, y su vinculación con las situaciones meteorológicas condicionantes del fenómeno. La labor que realizó el Instituto en esa oportunidad y las conclusiones a que arribó son los fundamentos que dieron origen a este trabajo, que consideramos uno de los primeros que se han efectuado en el país en la materia.

Por las circunstancias señaladas anteriormente, pueden existir analogías inevitables con algunos puntos del informe publicado por la Provincia.

## 2. OBJETIVO DEL TRABAJO

- 2.1 Trazado de las curvas cantidad-duración-área, incluyendo trazado de mapas de isohietas, su planimetrío y cálculo.
- 2.2 Cálculo de la lluvia máxima en el menor período compatible con la información disponible. Este objetivo involucra: Determinación de series, cálculo de probabilidad, determinación del período de retorno y caracterización del tiempo de precipitación máxima.
- 2.3 Formulación de un modelo para el estudio de la precipitación máxima probable sobre cuencas de distintas características.
- 2.4 Recomendación de medidas adecuadas para la instalación de una red observacional, el procesamiento de la información y su difusión.

El estudio se concentró en la cuenca del arroyo seco Frías, cuya extensión es menor de 30 km<sup>2</sup>

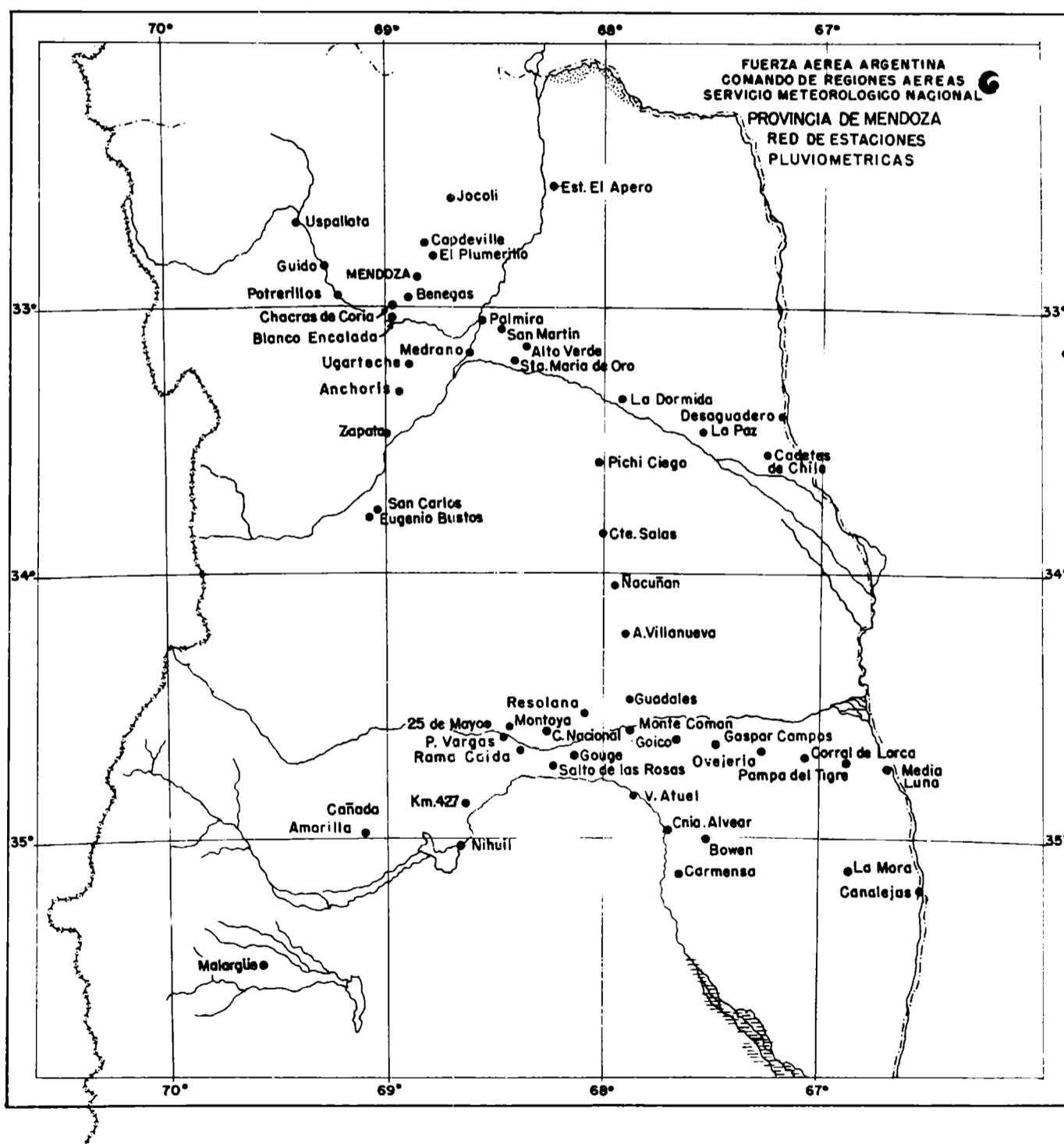
## 3. REGIMEN DE PRECIPITACION EN LA ZONA

- 3.1 **La red pluviométrica:** La red pluviométrica de la Provincia de Mendoza es atendida por el S M N y por organismos del Departamento General de Irrigación de la Provincia, de los Ferrocarriles, y de Correos y Telecomunicaciones, concentrándose las observaciones en el Instituto de Hidrometeorología. La densidad de estaciones pluviométricas es baja, —aproximadamente 10 por cuadrante de 4° (2° x 2°); contra 45 en el norte de la Provincia de Buenos Aires, 30 en Córdoba y Tucumán y más de 20 en la región mediterránea. Esta situación se agrava por la mala distribución, que se hace crítica en algunas zonas, especialmente en la región precordillerana. En la cordillera se cuenta con una red de 59 pluvionivómetros totalizadores, cuyos valores son un complemento valioso pero de eficacia dudosa en algunas oportunidades; además solamente permiten deducir el total anual. Asimismo, se encuentran en funcionamiento 8 pluviógrafos en estaciones del S M N y otros 9 que opera el Departamento General de Irrigación de la Provincia. En la figura 1 se muestra la red hidrometeorológica que funciona actualmente en la Provincia.

Otros aspectos importantes, al estudiar los regímenes de precipitación puntual de estaciones cercanas, son la extensión de las series de observaciones y la contemporaneidad de las mismas. En el presente caso, los registros de las cuatro estaciones básicas para el estudio (Mendoza Meteor, Mendoza F.C., Chacras de Coria y El Plumerillo) difieren en ambos aspectos, por lo que ha sido necesario efectuar un ordenamiento de los valores estadísticos.

**El instrumental:** Las observaciones pluviométricas anteriores a 1933 provienen de pluviómetros tipo "A" —así llamados por el S M N— los que fueron reemplazados en toda la red, a partir de ese año, por los tipo "B" \*

Estudios, basados en observaciones simultáneas con ambos pluviómetros, indican que se registran cantidades mayores (8%), y más aproximadas a lo real, con el pluviómetro tipo B



\* El pluviómetro tipo A, es de forma irregular y su boca de recepción tiene 12,5 cm. de diámetro. El tipo B. es cilíndrico, con 16 cm. de diámetro.

- 3.3 Concentración y procesamiento de la información:** Es corriente que, por errores u omisiones en la observación y en la anotación, la información no resulte fidedigna; especialmente la proveniente de puestos pluviométricos que no operan en estaciones meteorológicas de la red del S M N. Ello obliga a mantener un servicio de depuración sistemática donde se hace el análisis, comparando las distintas fuentes de datos, analizando los campos pluviométricos en los mapas diarios y comparando los valores individuales con los campos respectivos. Solo después de este proceso deben registrarse los datos, diarios y mensuales, en libros especiales. Lamentablemente, en los últimos 15 años no ha podido cumplirse regularmente esta tarea en el S M N por insuficiencia de personal y de medios.

Cabe señalar que, según estudios efectuados, los campos pluviométricos correspondientes a las series obtenidas en estaciones meteorológicas dependientes del S M N y en los puestos pluviométricos fuera de esa red (ferrocarriles, Gendarmería, provinciales, etc.) no son bien homogéneos. Como característica sobresaliente, los puestos pluviométricos acusan sistemáticamente menos precipitación que las estaciones meteorológicas, constatándose, al comparar las series, que aquellas casi nunca registran precipitaciones hasta 1 mm., y que observan lluvias diarias comprendidas entre 1 y 5 mm. con mucha menor frecuencia que las estaciones meteorológicas.

Se llega así a comprobar que las frecuencias normales de los puestos pluviométricos (período 1921-50) computadas para precipitaciones diarias  $\geq 0,3$  mm. corresponden, en realidad, a lluvias diarias mayores de 3,0 mm. Claro que esta aseveración tiene carácter general y no es aplicable a casos particulares; por ello, es aconsejable, cuando de frecuencias se trata, basarse fundamentalmente en las estaciones meteorológicas, sirviendo las pluviométricas como complemento.

Las series depuradas han eliminado, en gran parte, los errores en los promedios de lluvia caída, pero aún debe estimarse como probable un error medio del 10 %, mientras que para las frecuencias el error varía entre el 20 y el 30 %.

- 3.4 Estudio del régimen pluviométrico:** Para efectuar este estudio se han tomado como base trabajos del Ing. A. Marchetti (1952-1953), el Atlas Climático de la República Argentina (SMN, 1960), los Datos Pluviométricos del período 1921/1950 (SMN, 1962), trabajos de Galmarini y Raffo (1963), y muy especialmente, los análisis de los datos observacionales existentes en el Archivo Nacional de Meteorología.

- 3.4.1 Marcha anual de la precipitación:** Al estudiar la distribución de la lluvia durante el año, utilizando los promedios mensuales, debe tenerse en cuenta la diferente cantidad de días de los distintos meses a fin de evitar que la comparación resulte errónea, dificultad que se soluciona reduciendo las observaciones pluviométricas a meses de igual duración.

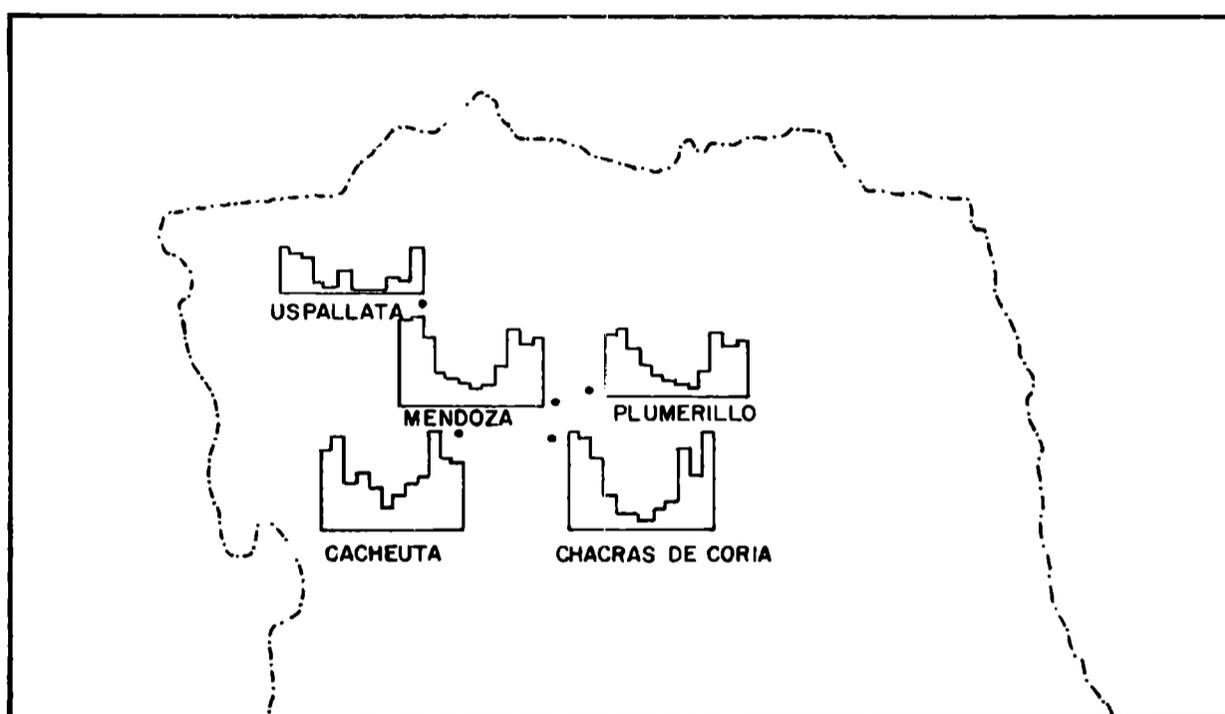
La figura 2 nos muestra algunos histogramas trazados sobre el mapa de la Provincia, en los que se visualiza la marcha anual de la precipitación. Es evidente el predominio de las lluvias de verano.

3.4.2 **Frecuencia de días de lluvia:** Los valores medios mensuales de la cantidad de precipitación ha sido consignada en la Tabla N° 1. Dicha tabla contiene, además, las frecuencias mensuales y anuales medias, correspondientes a precipitaciones diarias iguales o mayores que 1,0 mm.

3.4.3 **Densidad:** La densidad de lluvia es la relación entre el promedio mensual o anual de lluvia y el promedio de frecuencia correspondiente. El valor anual para Mendoza es 7,5, valor muy bajo, compatible con las características de la precipitación en la zona.

3.4.4 **Variabilidad:** El estudio de la variabilidad de la lluvia se ha efectuado con un registro de 40 años de la estación Mendoza, epicentro de la zona objeto de este informe.

Fig. N° 2



### HISTOGRAMAS DE LA DISTRIBUCION ANUAL DE LA PRECIPITACION

0 10 20 30 40 50 km. E. Gráfica

T A B L A N° 1

PROMEDIOS MENSUALES DE LLUVIA (mm) PARA MESES DE IGUAL DURACION

Estación \ Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Mendoza	28,1	29,3	23,4	10,5	9,8	8,9	6,9	7,8	13,4	26,1	20,9	23,8	208,9
El Plumerillo	21,0	23,3	15,1	11,2	7,7	5,8	5,1	4,0	9,2	21,9	18,0	18,7	161,0
Chacras de Coria	33,6	31,9	24,8	12,3	6,1	6,1	5,2	8,6	10,2	28,3	19,6	30,4	217,1
Cacheuta	25,6	31,4	15,4	18,0	14,2	8,4	11,1	14,6	17,8	33,0	23,4	22,9	235,8
Uspallata	15,2	13,8	10,9	3,4	1,7	7,0	1,1	0,9	1,0	5,9	5,7	14,6	81,2

FRECUENCIA MEDIA MENSUAL Y ANUAL DE LLUVIA ≥ 1,0 mm.

Estación \ Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Mendoza 1908-1946	3	4	3	2	2	1	1	1	3	3	2	3	28

Se ha calculado el valor de la desviación de cada año ( $\delta = P - \bar{P}$ ), de los totales anuales de lluvia ( $P$ ), con respecto al promedio de los 40 años considerados ( $\bar{P} = 192$  mm), resultando la siguiente distribución —frecuencia— casi normal de esos valores:

Entre $-3\delta$ y $-2\delta$	1
“ $-2\delta$ y $-\delta$	4
“ $-\delta$ y 0	17
0 y $+\delta$	14
$+\delta$ y $+2\delta$	4
$+2\delta$ y $+3\delta$	2

Se ha calculado también el promedio de la dispersión (variabilidad media):

$$\delta_m = \frac{\sum \delta}{n} = 58,0 \text{ mm,} \quad (\text{donde } n = 40)$$

y, expresada en porciento de  $P$ :  $\delta_m = 30,2\%$

En función de los cuadrados de las desviaciones se ha calculado el coeficiente de dispersión:  $\sigma_T = 78,3$

Consecuentemente:  $\frac{\delta_m}{\sigma} = 0,741$ , valor este cercano al teórico para una distribución normal, que es 0,792.

Se estudió así mismo la variabilidad a través del coeficiente de variabilidad:

$$\frac{T - t}{P} = 1,721 \quad (\text{siendo "T" y "t" los valores extremos}),$$

y del coeficiente de variación  $CV = \sigma/\bar{P} = 0,387$ . Ambos valores son muy altos, en especial el primero, que resultó uno de los más altos del país (Buenos Aires tiene 0,847).

El error probable mide la exactitud de los promedios pluviométricos; este valor resultó también muy alto en el caso de Mendoza:

$$F \% = \frac{\sigma 0,6745 \times 100}{n \times \bar{P}} = 4,029, \text{ siendo "n" el número de años.}$$

#### 4. ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO DE PRECIPITACIONES INTENSAS EN LA ZONA

**Introducción y objetivos generales:** Se efectuó el análisis cantidad-duración-área del régimen de lluvias, a fin de determinar las cantidades máximas de precipitación en distintos períodos y áreas. Para determinar la precipitación media se utilizó el método de las isohietas, considerado el más preciso para promediar las precipitaciones.

El trabajo exigió para su desarrollo: 1) compilación y transcripción de los datos existentes en el S M N ; 2) interpretación y análisis de dichos datos 3) determinación de relaciones cantidad-duración-área.

Para dar cumplimiento a este programa se siguió el siguiente procedimiento: selección de las tormentas y su período de acción; preparación de los mapas de isohietas; delimitación de áreas de interés fundamental; interpretación de datos de precipitación; estudio sinóptico de las tormentas elegidas.

Los pasos necesarios se detallan y discuten en los puntos siguientes de este trabajo.

En líneas generales puede decirse que es posible obtener los siguientes datos de la información pluviográfica resultante de las tormentas seleccionadas:

- a) intensidad máxima media de lluvia en cada estación pluviográfica, para períodos variables; de las estaciones pluviométricas (sin registrador) solo es posible obtener información suplementaria por medio de curvas acumuladas (de masa);
- b) lluvias contemporáneas (acumuladas) para todas las estaciones dentro del área de la tormenta, tabuladas para períodos crecientes con iguales incrementos de tiempo.

Estos valores son usados para trazar:

- i) mapas de isohietas, para períodos cortos;
- ii) Curvas acumuladas representando la altura promedio de lluvias contemporáneas en diferentes zonas del área de la tormenta. Estos datos son útiles para estudiar las relaciones lluvia-escurrimiento en cuencas de drenaje y dan una base para estimar las secuencias probables, crítica y normal, de períodos de lluvias intensas durante grandes tormentas.
- iii) Curvas de cantidad-duración, representando la altura media máxima de lluvia caída, en varios períodos de tiempo, sobre zonas de área variable. Estos datos pueden usarse a fin de estimar la tormenta máxima posible que se usará como base para determinar las capacidades de presas o trabajos protectores de crecidas.

**4.1 Selección de tormentas:** Para efectuar la selección de tormentas críticas se realizó el análisis, de 5 en 5 minutos, de 256 lluvias, se calculó la intensidad máxima de 409 lluvias y se efectuó la lectura de 794 lluvias con hora de comienzo y fin. Este trabajo se efectuó con fajas de pluviógrafos sin procesar, existentes en el Archivo del S M N De este análisis surgieron como tormentas más intensas las correspondientes a los días 31 de diciembre de 1959 y 4 de enero de 1970. La indicada en primer término constituyó el caso más extraordinario pero la otra fue causa del aluvión que originó el presente estudio.

**4.2 Análisis de datos contemporáneos de lluvia de una tormenta muy intensa:** La Tabla N° 2 muestra los datos contemporáneos para varias estaciones de la zona, correspondientes a la lluvia del 4 de enero de 1970. De su lectura surge el carácter súmamente local de las precipitaciones, pudiéndose observar que, entre las 18.00 y 18.30 horas, precipitan en Chacras de Coria 45 mm. y en el mismo intervalo sólo 0,2 mm. en Mendoza.

Este fenómeno agudiza el inconveniente derivado de la carencia de información en la parte superior de la cuenca del Frías, donde es de presumir que se han producido focos de precipitación intensa, según surge del volumen de agua que ha derramado por el cauce. Esto impide tener absoluta seguridad con respecto al campo de isohietas trazado, ya que en cierta medida ha sido necesario extrapolar los valores conocidos en base a datos de derrame.

50 LLUVIAS INTENSAS EN LA REGION PEDEMONTANA

Los datos de la mayor parte de las estaciones que figuran en el cuadro provienen de pluviómetros de registro semanal, por lo cual el análisis solo ha sido posible realizarlo de 30 en 30 minutos.

Con excepción de los datos correspondientes a Mendoza y Chacras de Coria, los valores de las otras estaciones de Tabla 2 han sido obtenidos del Departamento General de Irrigación de la Provincia de Mendoza.

4.3 **Cálculo de la precipitación absoluta:** En base a los datos obtenidos de las fajas de los pluviómetros diarios de las estaciones Mendoza y Chacras de Coria se seleccionaron, para cada estación, las lluvias máximas para 5, 10, 15, 30, 45, 60 y 90 minutos. Estos intervalos se han elegido teniendo en cuenta el tipo de la precipitación en la región pedemontana en estudio.

Para las estaciones de Mendoza y Chacras de Coria se trazaron las curvas de probabilidad, no pudiendo hacerse lo mismo para El Plumerillo dado el insuficiente registro (7 años).

T A B L A N ° 2

TABULACION DE DATOS CONTEMPORANEOS DE LLUVIA (4 - I - 1970)

Estación	Hora										
	14	14,30	15	15,30	16	16,30	17	17,30	18	18,30	
El Molino	1,2	0,05	0,05	1,6	2,2	0,3	8,0	7,0	3,5	2,0	
Papagallo		2,5	1,0	9,5	1,5	5,5	1,4	0,2	0,2	0,2	
Jaucha											
Ing. D. Sardina											
Ogarteche											
Tupungato (Aero)								0,2	0,1	0,1	
Ecia. La Resunga		← 0,8 →									
Las Tunas									0,8	0,1	
Dique Valle de Uco					2,0	0,2	1,0	0,9	← 0,1 →		
* Chacras de Coria									19,2	45,0	
* Mendoza (Observatorio)								0,0	8,5	0,2	
	19	19,30	20	20,30	21						
El Molino				1,1	0,7						
Papagallo	2,0	2,1	0,4	0,1	0,1						
Jaucha	0,4	4,0	1,2	1,3	0,1						
Ing. D. Sardina											26
Ugarteche											
Tupungato (Aero)	0,1	0,7	0,1	0,1	0,1						0,1
Ecia. La Resunga											
Las Tunas	0,1	3,0	0,5	2,4	0,5						
Dique Valle de Uco	0,5	0,8	0,5	1,5	0,1						
* Chacras de Coria	1,7	2,7	2,3	2,8	8,8						
* Mendoza (Observatorio)	1,1	3,4	1,3	5,0	7,2						

NOTA: \* Pluviómetro diario (semanal, en las restantes estaciones).

La figura 3 muestra las curvas de probabilidad para la estación Mendoza, para los tiempos de concentración 30 mi y 60 mi, trazadas sobre papel con escala logarítmica para los valores de intensidad de precipitación (eje de ordenadas) y escala gaussiana para la frecuencia porcentual acumulada (eje abscisas).

**4.4 Cálculo de curvas de intensidad-área partiendo del mapa de isohietas de la tormenta total:** La tormenta tipo para el área se construye en base a la tormenta máxima puntual de un período de recurrencia de 1 en 100 años y se muestra en la figura 5.

A partir de la tormenta de proyecto para un período de retorno de 1 en 100 años y siguiendo el método de las isohietas, se obtuvieron los valores en base a los cuales se elaboró la figura 4 que presenta la relación entre la intensidad de precipitación y la raíz cuadrada del área de la cuenca para un tiempo de concentración de 60 minutos y períodos de retorno de 100 y 200 años. Se obtiene de este gráfico una precipitación máxima promedio de 105 mm. para toda el área de la cuenca y un período de retorno de 200 años, lo que permite obtener un volumen de agua de 2.800.000 m<sup>3</sup>

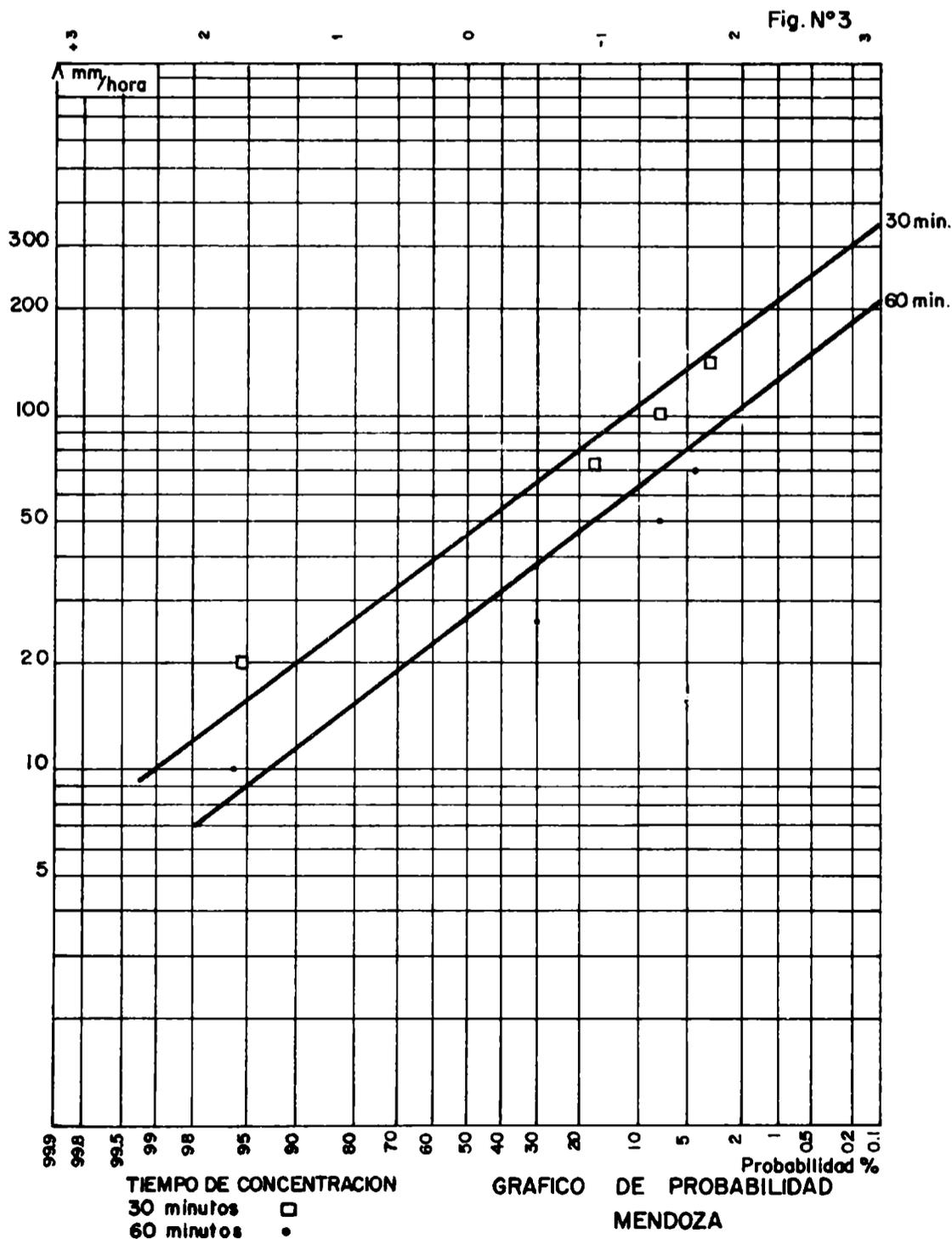
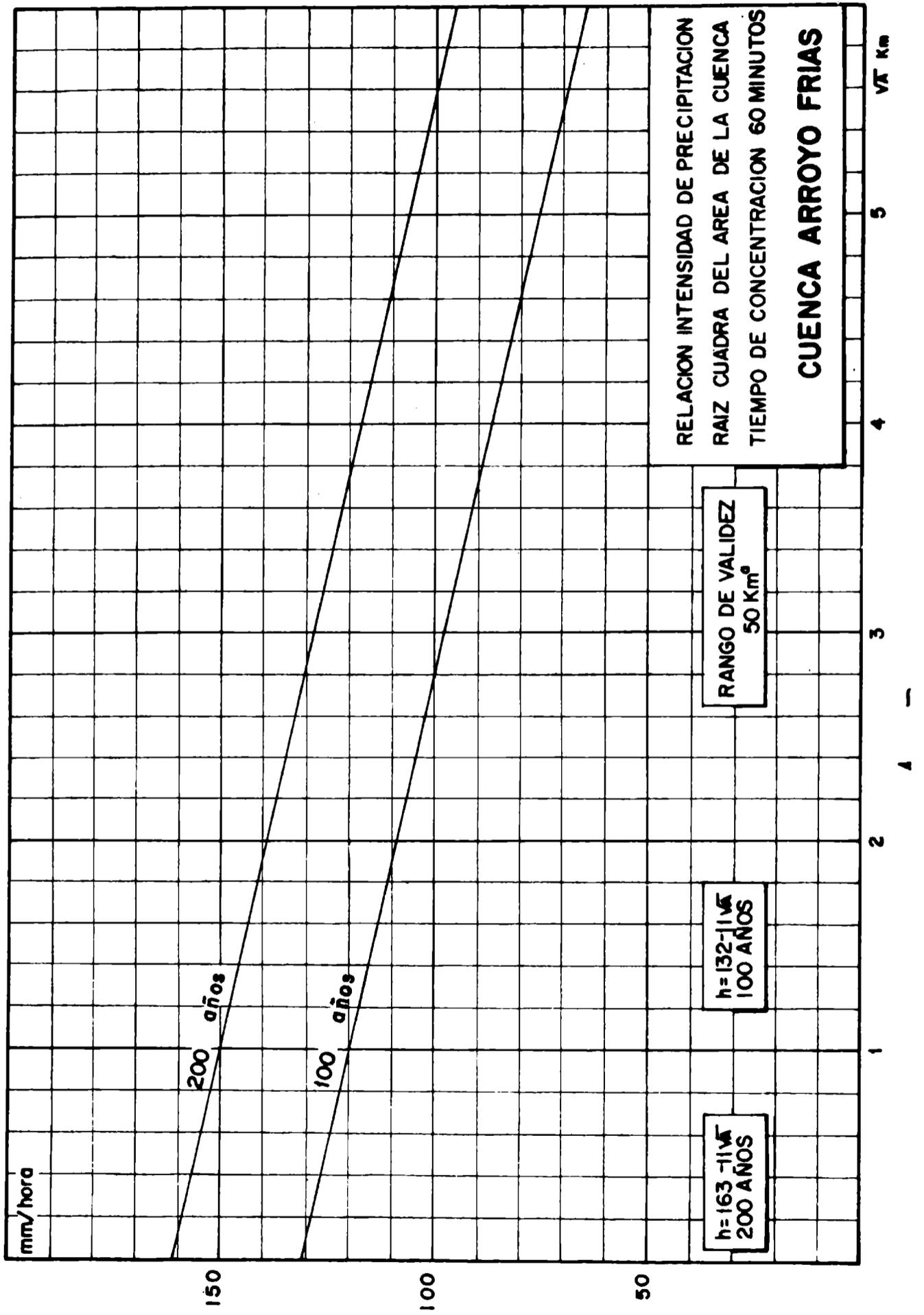
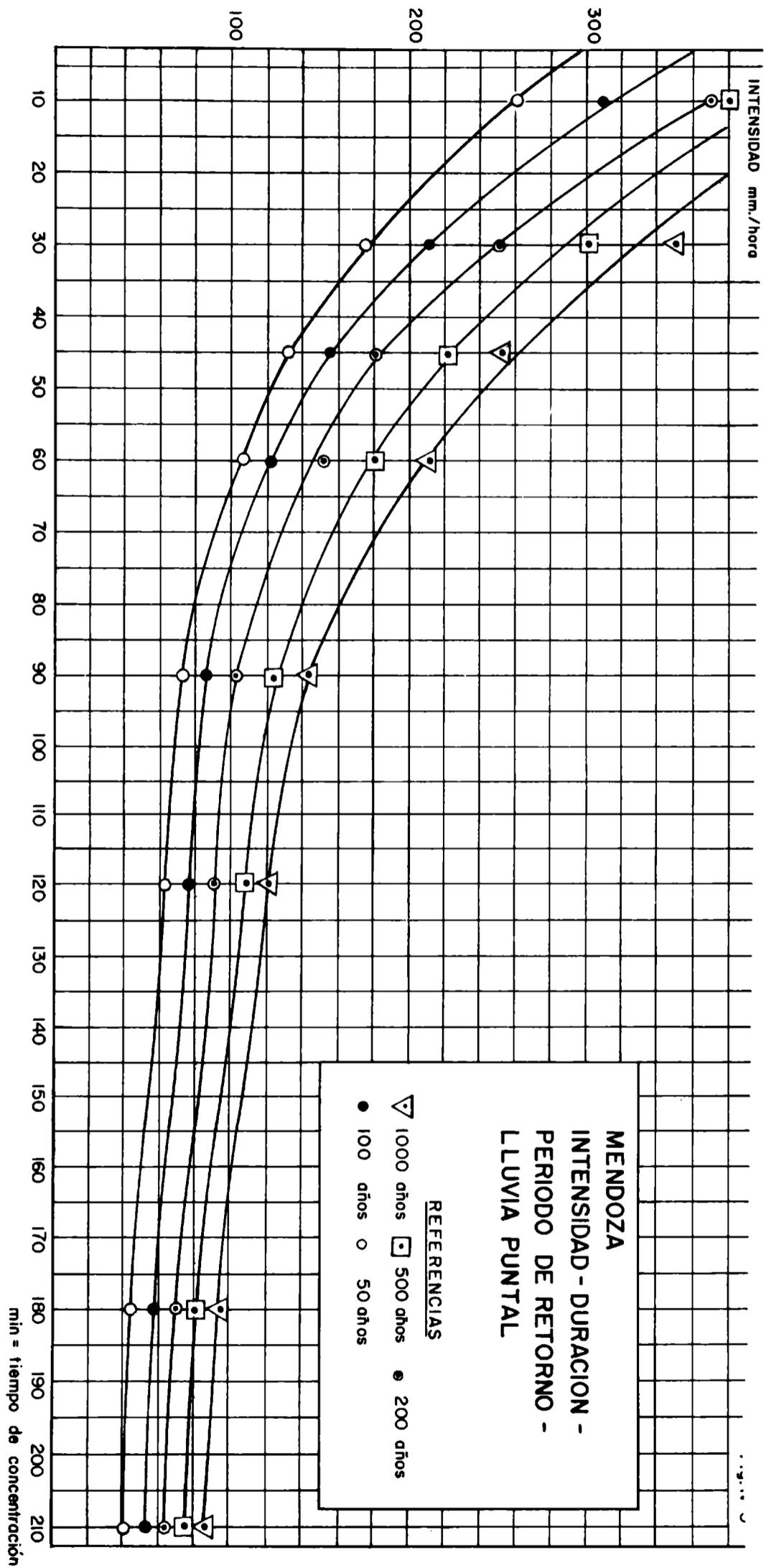


Fig. Nº4





La relación entre la precipitación y la raíz cuadrada del área es lineal y cumple con la ley de variación:  $P = 163 - 11 \sqrt{A}$  para un período de retorno de 200 años, donde P es la precipitación en mm. y A el área en  $\text{km}^2$

Estas curvas tienen un rango de validez de  $50 \text{ km}^2$  debido al carácter local de las precipitaciones de corta duración y gran intensidad.

- 4.5 **Curvas de intensidades máximas para lluvias de corta duración sobre pequeñas áreas:** Las intensidades máximas para lluvias de corta duración sobre pequeñas áreas (valor puntual) se muestran en la figura 5. Las curvas de intensidades máximas indican que las mayores precipitaciones se presentan en los primeros 70 minutos, tiempo máximo de duración del chaparrón en la zona. Así mismo, se pone en evidencia el rápido decrecimiento de la intensidad de precipitación en los primeros 60 minutos, siendo sumamente mayor dicho decrecimiento en los primeros 30 minutos, lo que muestra una vez más el carácter local de las precipitaciones.

Todos estos factores han sido tenidos en cuenta para la construcción de la tormenta de proyecto.

## 5. ANALISIS DE LA TORMENTA OCURRIDA EN MENDOZA EL DIA 4 DE ENERO DE 1970.

- 5.1 **Introducción:** En este informe se presenta el análisis de la tormenta ocurrida en Mendoza, en la estación de verano, el 4 de enero de 1970.

La región de Mendoza es particularmente favorable para el desarrollo de tormentas convectivas. La cordillera de los Andes, que la limita por el Oeste, constituye una barrera perpendicular a los vientos de ese sector, perturbándolos.

Los efectos dinámicos de esta perturbación, el calentamiento diferencial de las laderas y la circulación diurna de las brisas de montaña, son otros tantos factores que contribuyen a una intensa actividad convectiva, observándose la máxima frecuencia de tormentas en los meses de diciembre, enero y febrero.

- 5.2 **Red observacional:** Para el estudio de la tormenta anteriormente mencionada se contó con los siguientes elementos del archivo nacional:

5.2.1 Mapa sinóptico de superficie:

5.2.2 Mapas sinópticos de altura (200 y 500 milibares);

5.2.3 Datos de la red pluviométrica y pluviográfica de la Provincia de Mendoza;

5.2.4 Nefoanálisis correspondientes a los días 3, 4 y 5 de enero de 1970 efectuado por el Servicio Meteorológico de la Armada Nacional mediante la interpretación de las fotos de los campos nubosos tomadas por el satélite meteorológico NIMBUS III.

- 5.3 **Descripción de la tormenta:**

5.3.1 **Situación meteorológica a las 09.00 hora local:** La carta sinóptica de superficie, correspondiente a la hora local 09.00, indicaba, centrada sobre La Rioja, la baja térmica característica de esta época del año; un frente frío, orientado aproximadamente paralelo a los círculos de latitud, en posición media  $34^\circ \text{ S}$ ; y un sistema de alta presión centrado sobre el Atlántico, en  $44^\circ \text{ S}$  y  $59^\circ \text{ W}$ .

El mapa sinóptico de 500 mb. permitía apreciar un sistema de baja presión centrado en  $35^\circ \text{ S}$  y  $71^\circ \text{ W}$ . asociado a una gran vaguada (zona de mínima presión) con eje orientado NW - SE, pasando aproximadamente sobre la ciudad de Neuquén y la península de Valdés. El mapa de 200 mb mostraba una mar-

cada similitud con el de 500 mb., indicando una profunda perturbación en la circulación zonal. El eje del sistema de baja presión se ha inclinado levemente con la altura hacia el SW y está centrado en  $36^{\circ}$  S –  $72^{\circ}$  W. En igual forma, el eje de la vagüada se muestra paralelo al eje de 500 mb. pasando por  $40^{\circ}$  S,  $70^{\circ}$  W y por el sur de Rawson.

De lo expresado anteriormente se deduce que la Provincia de Mendoza se encontraba ubicada en la parte delantera de la vagüada de altura, donde predominan los movimientos de ascenso en las masas de aire. El nefoanálisis correspondiente a ese día permite ver, sobre casi toda la Patagonia Norte, un sistema nuboso con cúmulos potentes y cúmulunimbus asociados a la vagüada de altura.

Por otra parte, el estudio del campo de la temperatura potencial equivalente, en 850 mb. (parámetro característico de las masas de aire, invariante a los movimientos de ascenso y descenso de las mismas) permitía apreciar un marcado gradiente en el oeste del país, donde las isolíneas se orientaban en dirección norte-sur, curvándose luego hacia el este en la latitud media de  $35^{\circ}$  S, coincidente con la posición del frente frío en la carta de superficie. Tal distribución de las isolíneas indica la existencia de una masa de aire cálido y húmedo en la mitad norte del país.

Puede decirse, en síntesis, que el día 4 de enero de 1970, la mayor parte de Mendoza, a las 09.00 hora local, se encontraba dentro de una masa de aire cálido y húmedo, con un frente frío situado en  $35^{\circ}$  S y con un sistema de baja presión en altura que favorecía el ascenso de dicha masa de aire y por lo tanto la formación de nubes y precipitación.

Por razones de espacio no se adjuntan los mapas, correspondientes a lo descripción efectuada, los que pueden ser consultados en el SMN.

**5.3.2 Marcha diaria de distintos elementos meteorológicos en la localidad de El Plumerillo:** La figura 6 muestra la marcha horaria de distintos elementos meteorológicos en la localidad de El Plumerillo, durante los días 3, 4 y 5 de enero. En la marcha de la temperatura (Fig. 6A) se observa que los máximos ocurrieron entre las 15 y 16 horas aproximadamente. Además, el termograma correspondiente al día 4 se distingue por un marcado y brusco descenso de  $10^{\circ}$  C entre las 21 y 22 horas. Esta disminución de la temperatura indica, junto con otros factores, el pasaje del frente frío por la estación de El Plumerillo. El termograma del día 5 muestra, durante las 24 horas, temperaturas inferiores a la de los días 3 y 4, indicando la presencia de la masa de aire frío en la Provincia de Mendoza.

La marcha horaria de los distintos elementos meteorológicos (Fig. 6B) indica nubes cumulunimbus y precipitaciones acompañadas con tormentas a partir de las 18 horas del día 4, situación que se prolonga hasta las 4 horas del día 5 con características de chaparrones violentos. Obsérvese el viento fuerte del Oeste a las 21 horas, y su variación con el ascenso de la presión a partir de 22 hs. Como lo destaca la marcha horaria de esta (Fig. 6C) desde las 6 horas del día 4 la presión se muestra inferior a la del día 3, con marcado descenso a partir de 15 horas, indicando la proximidad del frente frío; esta tendencia se interrumpe a 21 horas, por la típica alta de tormenta asociada al viento chapa-

rrón que se registra a esa hora. Durante el día 5, y desde las 4 horas aproximadamente, la presión se muestra superior a la de los días 3 y 4, debido al sistema de alta presión post-frontal.

El frente frío se desplazó en las doce horas anteriores a su paso por El Plumerillo con una velocidad media aproximada de 13 km/hora.

**5.3.3 Distribución de las precipitaciones:** La figura 7 muestra la distribución de las precipitaciones en la Provincia de Mendoza, durante el día analizado. Se observan tres núcleos de máxima precipitación en proximidades de Chacras de Coria, Nacuñan y Montoya, respectivamente. El mayor de ellos, en Chacras de Coria, con un máximo probable de 140 mm. en 24 horas, resultó como producto de tres chaparrones. Se puede observar la orientación NW – SE del mismo y la ocurrencia súmamente local de dicha precipitación.

**5.4 Cálculo de la máxima cantidad probable de agua precipitable:** La máxima cantidad probable de agua precipitable, para un día determinado, puede ser calculada por métodos termodinámicos partiendo de la ecuación:

$$P_i = \frac{-0,622}{R.T} \left( \frac{de}{dz} + \frac{eg}{RT} \right) w \Delta Z$$

donde  $P_i$  es la precipitación potencial para una capa (i) de aire, ascendiendo en forma pseudoadiabática; R la constante de los gases ideales; T la temperatura en grados Kelvin; e la tensión de vapor del aire saturado a la temperatura T; Z la altura de la masa de aire; g la aceleración de la gravedad; w la velocidad vertical de desplazamiento de la capa; y  $\Delta Z$  su espesor.

Teniendo en cuenta que excepto la velocidad vertical y el espesor de la capa, las demás variables dependen sólo de la altura (presión) y de la temperatura de la parcela de aire, estos parámetros dan lugar a una graficación de la fórmula (a), como la realizada por el Profesor Fulks. (S. Petterssen, 1956).

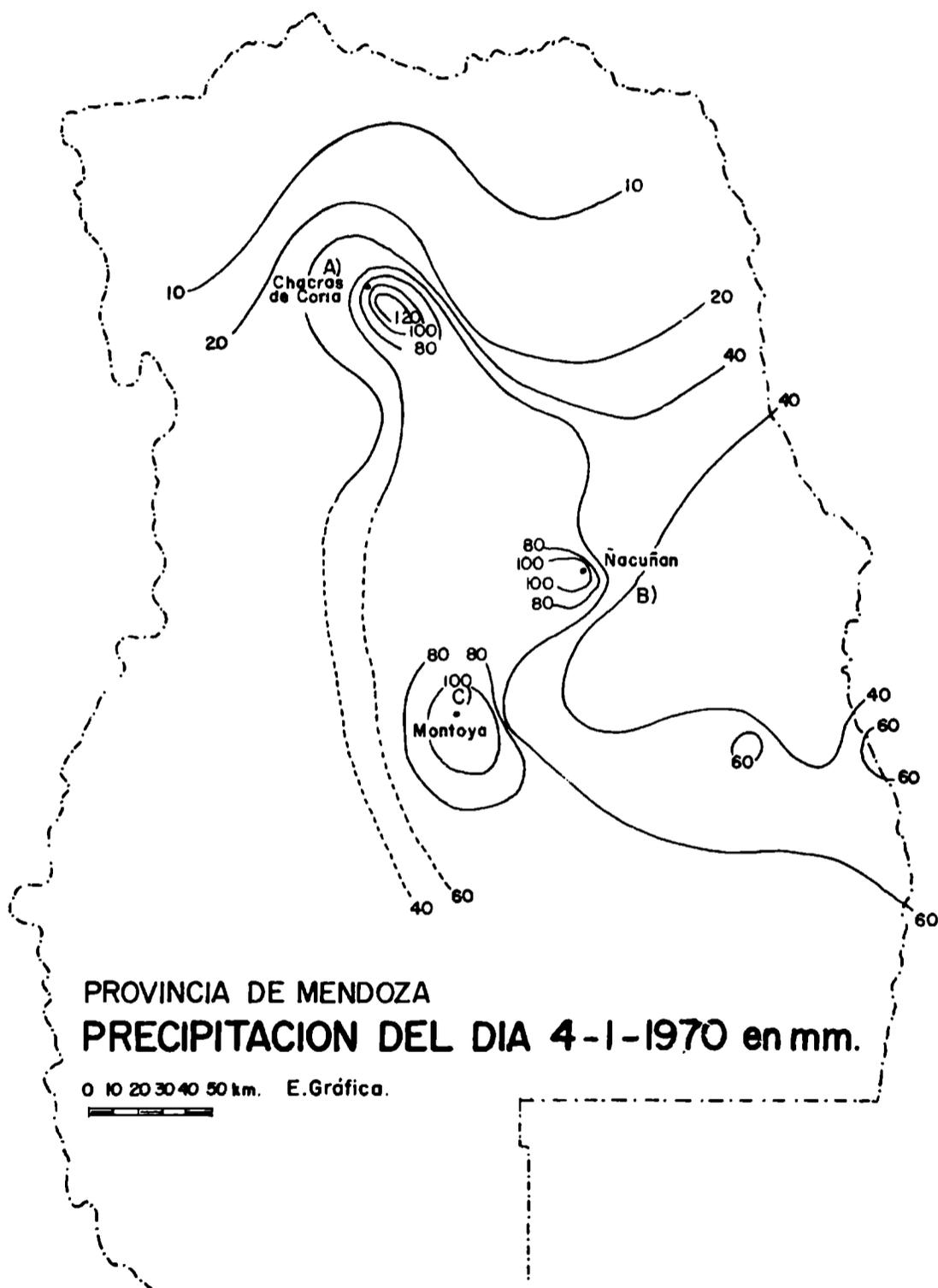
Para calcular la máxima cantidad de agua precipitable, se divide la atmósfera en varias capas, se determina el agua precipitable para cada una de ellas, con datos proporcionados por radiosondeos, y se suman los resultados parciales.

En la localidad de Mendoza no se realizó radiosondeo el día 4 de enero ni tampoco en los días anteriores, por lo tanto no fue posible aplicar el método para la tormenta máxima de dicho día. Se optó entonces por intentar la aplicación del mismo al otro día seleccionado, el 31 de diciembre de 1959.

En el Observatorio del Parque de Mendoza se registró, en la madrugada del citado día, una lluvia de gran intensidad. Por lo tanto, se usó el primer sondeo anterior a la lluvia intensa, el del día anterior, a 09.00 hora local. El cálculo de la máxima cantidad probable de agua precipitable (habiéndose estimado la velocidad vertical en base al tipo de tormenta y situación sinóptica del día) dió 72,7 mm/hora, cantidad razonable considerando que los chaparrones de corta duración en la zona tienen, aproximadamente, duración de una hora, y que el chaparrón del día siguiente fue de 89 mm. en una hora.

Hay que tener en cuenta que, por no existir otro posterior, el sondeo usado como base para los cálculos fue realizado quince horas antes de que se produjera la precipitación; no obstante, se considera que la variación de la situación sinóptica no alteró significativamente a los parámetros utilizados.

Fig. 7



De todas maneras, siendo éste un caso sumamente extremo para Mendoza, ese valor es probablemente representativo de los chaparrones intensos de corta duración.

## 6. CONCLUSIONES

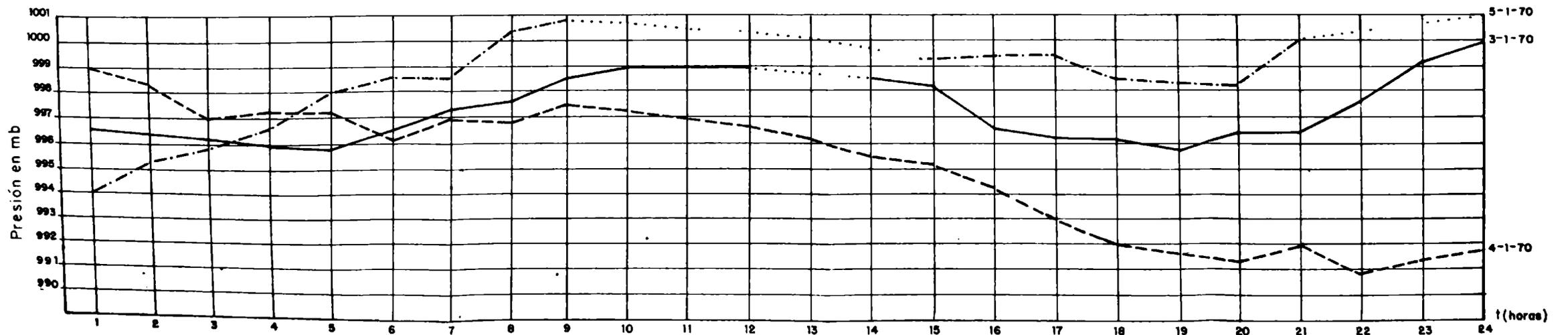
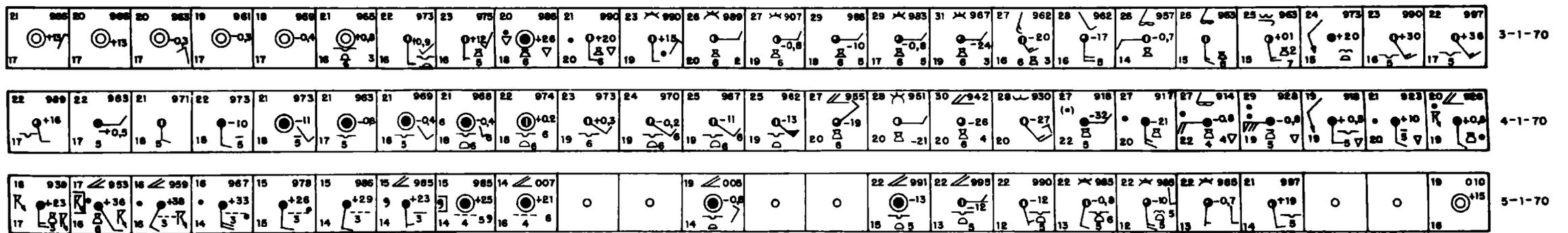
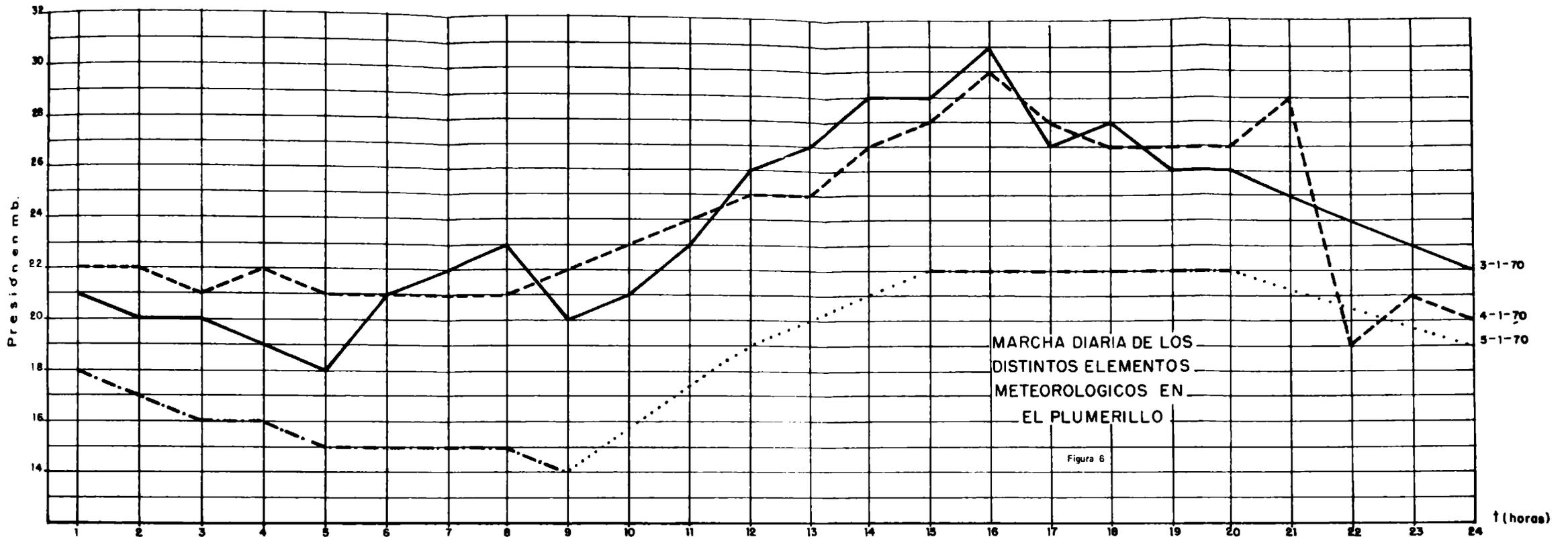
Del estudio de la situación meteorológica, de los pluviogramas y distribuciones de las precipitaciones en Mendoza para el día 4 de enero de 1970, se desprende que la tormenta ocurrida dicho día tiene origen en la convergencia pre-frontal, con ascenso de aire cálido y húmedo, estando la intensidad de la tormenta en relación directa con la intensidad del sistema de altura y la cantidad de agua disponible. El carácter de la precipitación sumamente localizado, indica así mismo la existencia de otras influencias, en especial la de la topografía.

El cálculo de la máxima cantidad de agua precipitable para el caso extremo ocurrido (31-12-959) y los cálculos realizados para distintos períodos de retorno, permiten concluir que el período de retorno de 200 años da valores que maximizan los fenómenos de precipitación, dando un valor de 152 mm. para el área de 1 km<sup>2</sup> y un valor de 105 mm., en una hora, para el área de la cuenca del Zanjón Frías. (Fig. 4 y 5).

## 7 RECOMENDACIONES

Es obvio señalar que las propuestas que se hacen en este informe, tienden no solo a prever eventos como el producido el 4 de enero, sino también a ampliar el conocimiento exhaustivo climático, hidrológico y sinóptico de la zona, de vital importancia para el desarrollo de la economía de la misma.

- 1 Debe aumentarse el número de pluviómetros, en forma tal que la red sea meteorológicamente homogénea, es decir, que tenga en cuenta las características de la precipitación y topografía de la zona. Deben tenerse en cuenta las normas establecidas por la Comisión de Hidrometeorología de la Organización Meteorológica Mundial, y especialmente, poner énfasis en la necesidad de colocar pluviómetros en las partes altas de las cuencas, donde se producen precipitaciones de gran importancia hidrológica.
- 2 Se considera indispensable sostener y acrecentar un servicio permanente de mantenimiento e inspección de los puntos pluviométricos, a fin de que las observaciones sean de buena calidad.
- 3 Se estima que es imprescindible aumentar el número de pluviógrafos de registro diario. En los lugares de difícil acceso deben instalarse de registro semanal o mensual, del tipo "a cangilones" debido a que en la zona en estudio los pluviógrafos a sifón podrían tener fallas de funcionamiento, en verano debido a la evaporación y en invierno debido a las heladas. Cada pluviógrafo deberá estar acompañado por un pluviómetro y contar con protección adecuada.
- 4 La solución óptima (pero más costosa) sería la de instalar pluviógrafos especiales con registro hasta 180 días, que operan mediante impulsos eléctricos automáticos alimentados por baterías secas. Estos equipos, que no se fabrican en el país, permiten también mediante un dispositivo especial la transmisión a distancia.





- 5 Es aconsejable que los pluviógrafos instalados por el Departamento General de Irrigación, de registro semanal, sean transformados a registro diario, para poder detectar las lluvias intensas de corta duración.
- 6 Es necesario que se mantenga actualizada la estadística pluviométrica mediante la depuración y el análisis de los datos diarios por personal especializado, antes de su procesamiento final.
- 7 Una vez efectuado el análisis diario, los servicios responsables deben procesar los datos por medio de computadoras y publicarlos lo más rápido posible para su utilización por los usuarios.
- 8 Es imprescindible que se preste la máxima atención al mantenimiento del instrumental, de modo que el mismo se encuentre en operación en todo momento. Ello evitará casos como el del pluviógrafo del Aerodromo El Plumerillo, que no registró la precipitación del 4 de enero de 1970 por estar fuera de servicio.
- 9 Es aconsejable que la centralización de la información pluviométrica la realice un organismo nacional, por ejemplo el SMN como hasta ahora, pero debe intensificarse la coordinación con los organismos provinciales y privados, u otros nacionales que realizan observaciones del mismo tipo.
- 10 Debe intensificarse el intercambio de datos meteorológicos diarios, con la República de Chile, para un mejor conocimiento sinóptico y climático de la zona.
- 11 Se recomienda que se efectúe el estudio exhaustivo de las precipitaciones máximas probables, mediante análisis meteorológicos. Para ello es indispensable contar con datos adecuados, lo que exige radiosondeos ininterrumpidos.
- 12 En tal sentido, es necesario que los radiosondeos que se efectúan actualmente en Mendoza, se realicen con regularidad, a razón de dos sondeos diarios.
- 13 Es aconsejable que lo recomendado en el punto 12) se cumpla también en las otras estaciones argentinas de radiosondeo, a efectos de poder estudiar el balance de agua global en la atmósfera (método de Palmen).
- 14 Se estima fundamental que se intensifiquen los estudios de evaporación y de evapotranspiración en la zona, mediante métodos directos e indirectos.
- 15 Es aconsejable que se estudie la posibilidad de instalar instrumentos adecuados para determinar la difusión del vapor en las capas bajas de la atmósfera; la transferencia de calor y de masa, así como los distintos elementos del balance de energía en la interface aire-agua. Para ello sería de gran importancia contar con la colaboración de la Universidad de Cuyo.
- 16 Debe mejorarse el aprovechamiento de los datos proporcionados por el radar meteorológico instalado en San Martín. A tal efecto se necesitan: a) efectuar un análisis permanente de los ecos registrados para lo cual sería necesario aumentar el personal de la estación; b) asegurar una vía de comunicación de varios canales, para alertar en los casos necesarios a los centros meteorológicos, El Plumerillo en especial; c) asegurar que quede constancia, mediante filmación, de los ecos recibidos. Si bien un radar de 3 cm. no es el más idóneo para la determinación de la cantidad de precipitación (es preferible uno de 10 cm.), pueden obtenerse importantes informes de carácter cualitativo que ilustran sobre la intensidad relativa de los focos de precipitación y el desplazamiento de las tormentas. (En el caso de la tormenta del 4 de enero, el aprovechamiento de los ecos fue parcial y cuando ya había pasado el meteoro, gracias al interés demostrado por el Jefe de la estación San Martín).

- 17 Debe asegurarse una protección adecuada, mediante duplicación con métodos modernos, de todo el material observacional. A tal efecto, es necesario llevarlo a fichas perforadas, cintas magnéticas y micropelículas. Se trata de documentación de valor y de carácter irremplazable, lo que justifica el esfuerzo financiero que debe hacerse para lograr ese objetivo.
- 18 En el caso particular de la zona estudiada deberían concretarse los estudios planificados para lucha antigranizo y otorgarse los fondos necesarios para mejorar la infraestructura adecuada a dicho fin.

### BIBLIOGRAFIA

- BOFFI J. A., (1949): "Efecto de la Cordillera de los Andes en la circulación general del aire sobre la República Argentina". Anales de la Sociedad Científica Argentina E. III. Tomo CXLVIII; Buenos Aires, marzo .**
- BRUCE J. P. and CLARK R. H., (1966): "Introduction to Hydrometeorology". Pergamon Press.**
- BURGOS J. J. y VIDAL A. L., (1951): "Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite". Revista "Meteoros", Año 1, N° 1. Buenos Aires, enero.**
- CONI E., (1897 : "Saneamiento de la provincia de Mendoza". Buenos Aires.**
- CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES (1961) "Recursos hidráulicos superficiales". Serie: Evaluación de los recursos naturales de la Argentina. Buenos Aires.**
- FLETCHER R., (1950): "A relation between maximum observed point and areal rainfall values". Transactions of American Geophysical Union Vol. 31; N° 3; June,**
- GALMARINI A. y RAFFO J. M., (1963): "Condiciones de aridez y humedad en la República Argentina" CONADE. Buenos Aires.**
- GRANDOSO H. y HERRERA CANTILO L., (1968): "Mesoanálisis de tres tormentas típicas en Mendoza". U.B.A. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Serie Meteorológica. Vol. 1, N° 9**
- GRANDOSO H. y NUÑEZ J. M., (1965): "Estudio de los campos de flujo y de la temperatura de la capa inferior de la atmósfera en la provincia de Mendoza". Idem. Vol. 1, N° 6.**
- GRANDOSO H., ZAWADSKI I. y SIELECKI A., (1966): "Influencia del viento en altura sobre el desarrollo de tormentas". Idem. Vol. 1, N° 8.**
- GRUPO CONJUNTO CEPAL-CFI, (1964): "Los recursos hidráulicos de la Argentina". Buenos Aires.**
- HUFF F. A. and STOUT G., (1952): "Area-depth studies for thunderstorm rainfall in Illinois". Transactions of American Geophysical Union Vol. 33, N° 4; August.**
- LINSLEY R., KOHLER M. y PAULHUS J., (1949): "Applied Hydrology". Mc Graw Hill Co., New Jersey.**

- LINSLEY R. K. and KOHLER M. A., (1951): "Variations in sotrm rainfall over small areas". *Transactions of American Geophysical Union*, Vol. 32; N° 2; April.
- LINSLEY R., KOHLER M. y PAULHUS J., (1967): "Hidrología para Ingenieros", Mac Graw Hill Co. Madrid.
- MARCHETTI A. A., (1952): "Estudio del régimen pluviométrico de la República Argentina". *Revista "Meteoros"*, Año II, N° 3/4; Buenos Aires.
- MARCHETTI A. A., (1952): "Frecuencia de las lluvias intensas de corta duración en la ciudad de Buenos Aires". *Revista "Meteoros"* Año II, N° 1/2, Buenos Aires.
- MARCHETTI A. A., (1953): "Probabilidad de las lluvias intensas en la ciudad de Buenos Aires". *Revista "Meteoros"*, Año III, N° 2/3; Buenos Aires.
- ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL (O.M.M.), (1967): "Guía de Prácticas Hidrometeorológicas". Ginebra.
- PETTERSEN S., (1956): "Weather Analysis and Forecasting". Mc. Graw Hill.
- QUINTELA R. y MEDINA L., (1969): "Cálculo indirecto de la evaporación en superficies libres". IV Congreso Nacional del Agua, Tomo II. Neuquén.
- RAINBIRD A. F., (1967): "Methods of estimating areal average precipitation". Organización Meteorológica Mundial, Report N° 3 on WMO/IHD Projects. Ginebra.
- ROMANELLA C. y ALBERTO MILLER J. C., (1969): "Esgurrimiento en pequeñas cuencas y probabilidad de lluvias intensas"; 4° Congreso Nacional del Agua, Neuquén.
- SCHWERDTFEGER W., (1951): "La depresión térmica del NW Argentino". *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, E. VI. Tomo CLI. Buenos Aires, Junio.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, (1962): "Datos Pluviométricos 1921-1950; Publicación B<sub>1</sub> N° 2". Buenos Aires.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, (1962): "Datos de radiación solar del Año Geofísico Internacional". Buenos Aires.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, (1962): "Atlas Climático de la República Argentina 1921-1950". Buenos Aires.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, (1965): "Estadísticas Climatológicas 1941-1950; Publicación B<sub>1</sub> N° 4. Buenos Aires.
- SOCIEDAD ARGENTINA DE ESTUDIOS GEOGRAFICOS (GAEA), (1947): "Geografía de la República Argentina". Tomo IV. Buenos Aires.
- THORNTHWAITE W., (1948): "An approach toward a rational classification of climate". *Geographical Review*; January.
- U. S. WEATHER BUREAU, (1946): "Manual for depth-area-duration analysis of storm precipitation". *Cooperative Studies, Technical Paper N° 1*. Washington.
- VOLPI C. A., (1944): "Obras hidráulicas de protección de la ciudad de Mendoza y sus alrededores", La Ingeniería (CAI). Buenos Aires, setiembre.
- WOLCKEN K., (1954): "Algunos aspectos sinópticos de la lluvia en la Argentina"; *Revista "Meteoros"*, Año IV, N° 4, Buenos Aires.



## **ACTIVIDADES DEL DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD ATMOSFERICA**

HOFMANN, C. A. y PAGANO, M. C.  
Observatorio Nacional de Física Cósmica de San Miguel.  
Comisión Nacional de Estudios Geo-Heliofísicos

En este trabajo son presentadas algunas de las actividades realizadas por el Departamento hasta Abril de 1971, en particular, los datos estadísticos de distribución azimutal de atmosféricos, para los primeros meses de 1971, con un breve análisis de los mismos, y su comparación con los datos del Servicio Meteorológico Nacional; la ubicación de focos tormentosos, desde dos estaciones; el seguimiento de tormentas, por el método radiogoniométrico; la medición del parámetro SAR que expresa la relación de amplitudes espectrales. Por último se menciona un experimento con estaciones en cadena para estudios de propagación.

**In this work some of the activities accomplished by this department up to April 1971 are shown, in particular, the statistical data of atmospheric distribution for the first months of 1971 with a brief analysis of them and their comparison with the National Meteorologic Service data; the location of storm focus from two stations; the storm tracking by the radiogoniometric method; the measurement of the parameter SAR (spectral amplitude ratio). Finally, an experiment for propagation studies through a chain of stations is mentioned.**

El Departamento se dedica al estudio de los atmosféricos. Estos son ondas electromagnéticas generadas durante las descargas eléctricas y cuyo espectro de amplitudes tiene un máximo en muy bajas frecuencias (VLF), surgiendo así la posibilidad de estudiar:

- la propagación de ondas entre 3 y 30 Kc,
- el fenómeno meteorológico que lo genera.

Estos aspectos se complementan mutuamente, de tal suerte que para los estudios meteorológicos es necesario conocer cómo se propagan dichas ondas, y viceversa. El estudio del fenómeno meteorológico puede ser subdividido en dos áreas:

- ubicación de los focos tormentosos, desde dos o tres estaciones;
- búsqueda de las interrelaciones entre el fenómeno meteorológico y parámetros electromagnéticos (EM) de los atmosféricos.

Una aproximación al primer aspecto ha sido encarado desde S. Miguel sobre base de datos suministrados por los equipos existentes, descriptos por Frisius, J. & Heydt G. (1968). Así se ha obtenido la distribución azimutal de atmosféricos para los meses de diciembre de 1970, hasta junio de 1971. En los mapas 1 y 2 figuran, a modo ejemplo, diciembre y abril.

A pesar de las fluctuaciones existentes, cuya causa debe buscarse en la irregularidad del fenómeno natural, pueden observarse:

- un gran máximo abarcando el sector NNW-NNE aproximadamente;
- un mínimo en dirección al mar abierto;
- un máximo secundario hacia el sector SO;
- una gradual disminución de la actividad desde diciembre a julio.

Estas distribuciones muestran una concordancia muy buena con las estadísticas de 10 años del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 1960) sobre las cuales se confeccionaron los mapas de las figuras 3 y 4, donde se representa la distribución en territorio Argentino, de tormentas eléctricas. La figura 3 corresponde al mes de enero y la figura 4 a julio; aquí también, el máximo de actividad corresponde al norte del país, registrándose una disminución de la misma, de diciembre a julio.

La ubicación de áreas tormentosas por cortes o triangulación, con datos de atmosféricos, se inició con los datos de La Rioja y San Miguel, en 1971. La existencia real de las mismas fue controlada, en cada caso, con la información provista por el Servicio Meteorológico Nacional en sus cartas del tiempo (SMN, 1971). La figura 5 constituye un ejemplo para un día en particular.

El método de triangulación empleado no permite definir la estructura interna del área; se requiere para esto una nueva técnica experimental cuya idea central es la ubicación del lugar de origen de cada uno de los atmosféricos, con la precisión de una célula tormentosa (6 - 10 Km de diámetro). Dicha técnica será descripta en detalle en un trabajo posterior. Este sistema posibilitaría, además, la obtención de una distribución estadística de la actividad tormentosa en el país y zonas aledañas.

Otra área de trabajo encarada es la que se refiere a la búsqueda de la interrelación entre el fenómeno meteorológico y los parámetros electromagnéticos de los atmosféricos. El objetivo de este trabajo es el análisis del fenómeno meteorológico a través de dichos parámetros. Aquí surgen una serie de problemas, ya que:

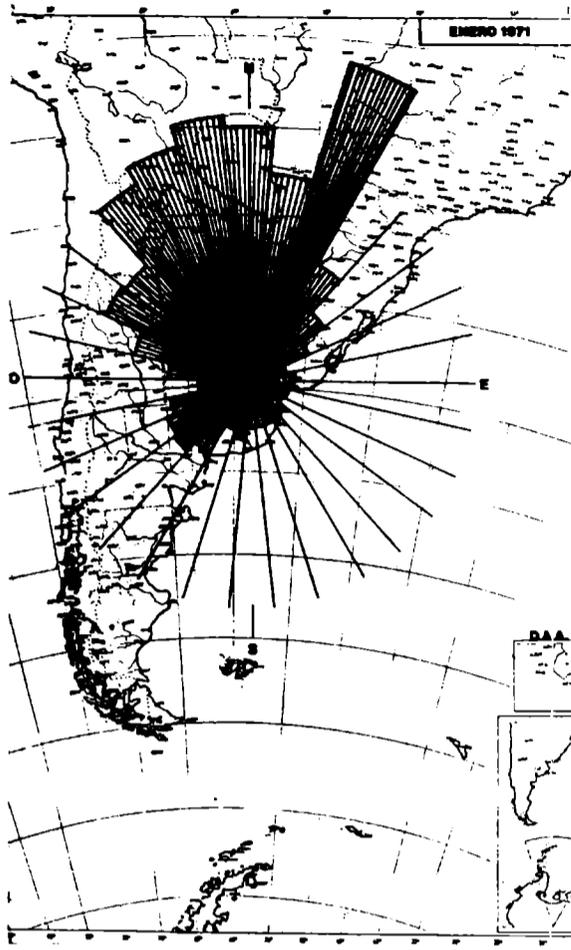


Fig. 1 Histograma de distribución azimutal. Promedio de cantidad  $N$  de pulsos para el mes de diciembre, en coordenadas polares con centro en San Miguel.  
 $\psi$  sectores de  $12^\circ$   
 $\rho$  en unidades arbitrarias

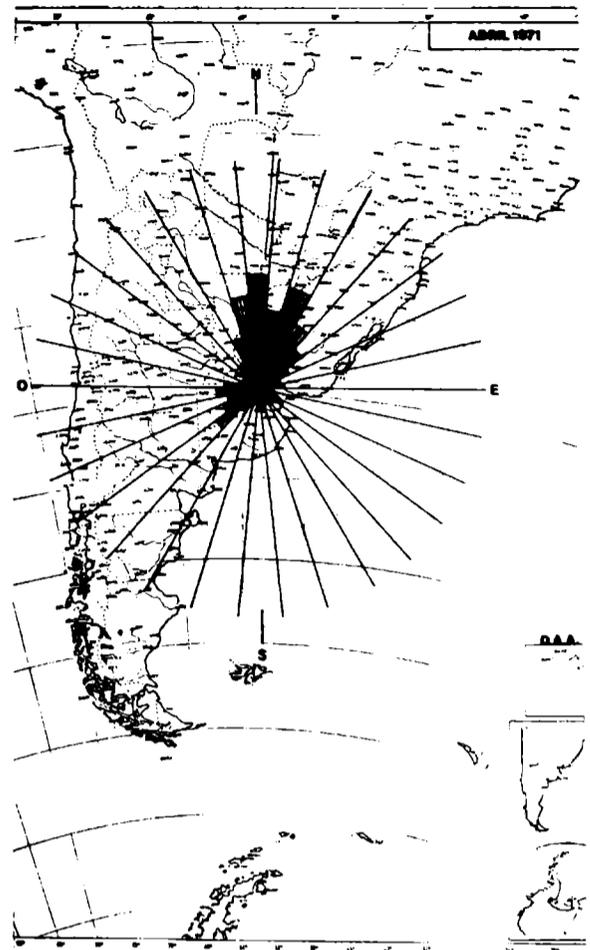


Fig. 2 Histograma de distribución azimutal. Promedio de cantidad  $N$  de pulsos para el mes de marzo, en coordenadas polares con centro en San Miguel.  
 $\psi$  sectores de  $12^\circ$   
 $\rho \sim N$  en unidades arbitrarias (misma escala que en Fig. 1)

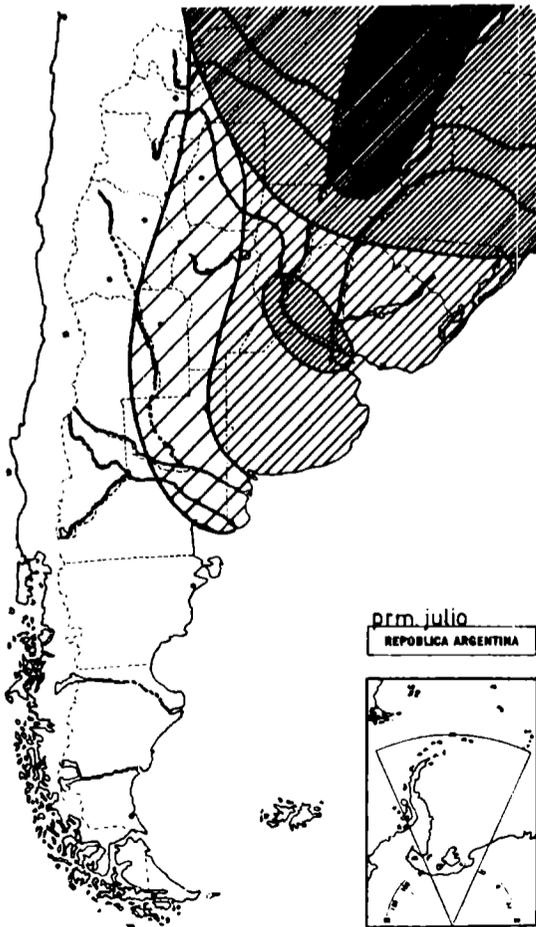


Fig. 3 Actividad tormentosa. Promedio en la República Argentina para el mes de enero. La intensidad del rayado es proporcional a la actividad.

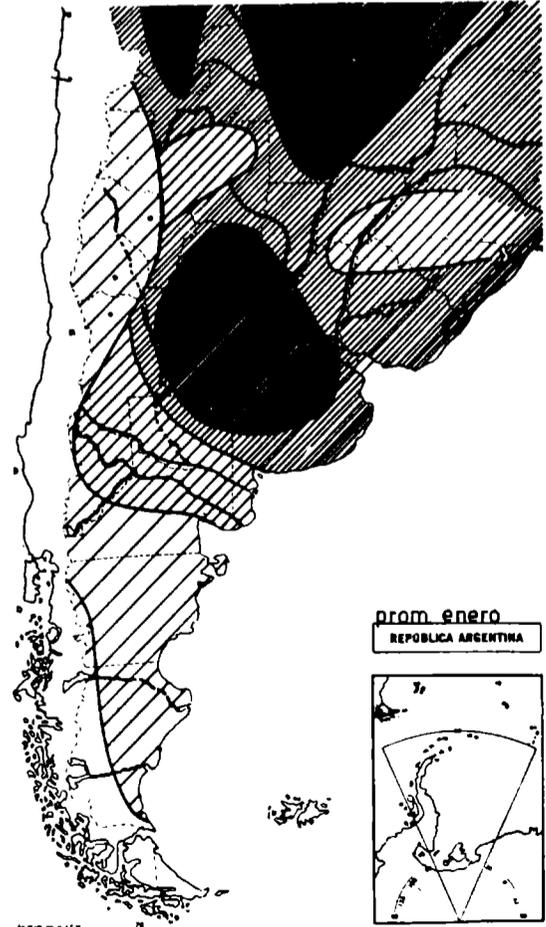


Fig. 4 Actividad tormentosa. Promedio en la República Argentina para el mes de julio. La intensidad del rayado es proporcional a la actividad.

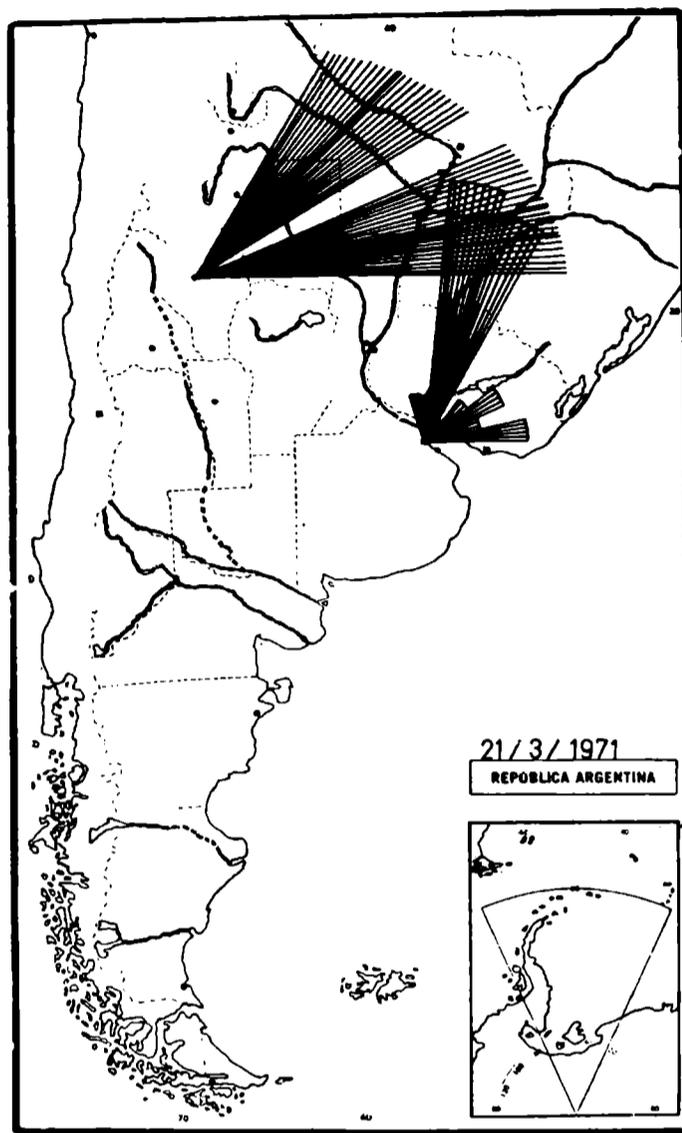


Fig. 5 Actividad tormentosa registrada en San Miguel y La Rioja el 21 de marzo de 1971 en coordenadas polares. Para La Rioja se han representado únicamente los sectores  $\varphi$ ; en San Miguel se ha registrado  $\varphi$  y  $\xi \sim N$ .

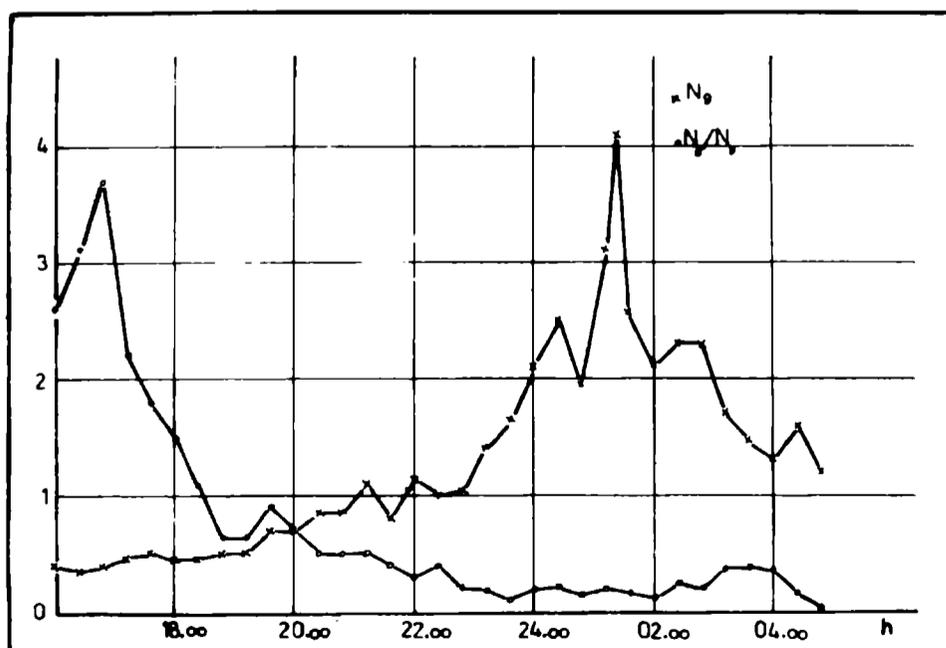


Fig. 6 Desarrollos temporales de la relación de amplitudes espectrales (SAR), para 5 y 9 Kc (curva punteada con cruces), y de la cantidad de pulsos en 9 Kc (curva punteada con círculos) en unidades arbitrarias.

- el espectro original de los atmosféricos se deforma durante la propagación;
- el análisis debe ser estadístico, sobre una gran cantidad de atmosféricos;
- debido a la influencia de la función de propagación en el campo cercano, (Harth W., 1971) el análisis debe ser realizado sobre muestras extraídas de áreas pequeñas, perfectamente definidas y acotadas en el espacio.

Dentro del programa de 1971, se ha realizado el seguimiento de tormentas por el método radiogoniométrico, para las cuales ha sido registrada la relación  $N_5/N_9$  de amplitudes espectrales (SAR) correspondientes a 5 Kc y 9 Kc, y su variación en el tiempo. La figura 6 muestra los resultados obtenidos. Sobre el eje de las abscisas se ha representado el tiempo, en horas, y sobre el de las ordenadas la relación  $N_5/N_9$ , en unidades arbitrarias. En el mismo gráfico se ha representado la cantidad de pulsos en 9 Kc por unidad de tiempo, también en unidades arbitrarias. Comparando ambas curvas, cuyos ejes de tiempo coinciden, puede observarse que  $N_5/N_9$  mantiene valores bajos durante el auge de la tormenta, y que estos crecen poco antes de finalizar la misma, para luego volver a decrecer.

El ejemplo de la figura 6 se refiere a una tormenta particular, sin embargo desarrollos similares han sido observados en varias oportunidades.

La explicación de este desarrollo puede buscarse sobre la base de dos hipótesis:

- dentro del área tormentosa, (en el campo cercano) el fenómeno de emisión se desplaza provocando las variaciones de la relación de amplitudes espectrales (SAR) observadas;

- varían las condiciones de emisión de la tormenta y por lo tanto varía su contenido espectral.

Finalmente, una tercer hipótesis admitiría que tanto el desplazamiento espacial como las condiciones de emisión de las tormentas, influyen con un peso similar sobre la magnitud del parámetro medido.

La comprobación de cualquiera de ellas puede ser realizada únicamente con la técnica mencionada más arriba.

Para la realización de estudios de propagación pura, sobre la base de atmosféricos, el Departamento de Electricidad Atmosférica está concretando, con el apoyo del Heinrich-Hertz Institut de Alemania, un experimento con estaciones en cadena, a fin de eliminar el desconocimiento de los parámetros relación de amplitudes espectrales, diferencia de tiempo de propagación y amplitud espectral, (SAR, GDD y SA) en el origen. A esos efectos se contaría con 4 bases de observación —San Miguel, Puerto Madryn, Ushuaia, y Antártida— midiéndose los parámetros de los atmosféricos que se propagan, a lo largo del camino de propagación que une estas estaciones, comparándose luego los datos de unas con respecto a las otras.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo, agradecen la colaboración del Departamento de Optica Solar, de los fotógrafos Juan y Carlos Muraro, la Srta. María Teresa Castro y el Sr. Guillermo Hahn.

## BIBLIOGRAFIA

- FRISIUS, J. & HEYDT, G (1958): Technischer Bericht N° 95 Heinrich-Hertz-Institut, Berlín-Charlottenburg.*
- HARTH, W. (1971): Der Einfluss höherer Mode auf Atmosphericparameter. Teil I: Die Gruppenlaufzeitdifferenz. Teil II: Das Amplitudenverhältnis. Forschungsberichte der Astronomischen Institute, Bonn, 04-05. Max-Planck-Institut für Radioastronomie.*
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL (1960): Estadísticas Climatológicas (1941-1950) Publicación D<sub>1</sub>, N° 3. Servicio Meteorológico Nacional.*
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL (1971): Cartas del Tiempo (1971) Servicio Meteorológico Nacional.*

## MEDICION DEL FLUJO DE NEUTRONES A 10,6 Gv

N. A. SIMIONATI de FRITZ y A. A. CICCHINI

Escuela Superior Técnica – Universidad Tecnológica Nacional

Se analizan los registros obtenidos en una serie de cuatro vuelos con globos dilatables, que alcanzaron una altura máxima equivalente a una presión de 12 mb. Los lanzamientos fueron realizados en Buenos Aires. Los equipos transportados constaban de un contador enriquecido y otro normal, rodeados de 2,5 cm de parafina y 0,5 mm de Cd.; sistema sensible a neutrones en el rango de energías de aproximadamente 0,01 a 1 Mev.

La posición del máximo de transición, a 10,6 Gv, fue  $98 \pm 3$  mb; valor que concuerda con el esperado, de acuerdo con la variación en latitud predicha por Lingelfelter y con los resultados experimentales obtenidos por Holt, Mendell y Korff.

El conteo al tope de la atmósfera fue estimado por extrapolación, representando aproximadamente un 33 % del conteo máximo; valor muy alto si se compara con el obtenido en otros trabajos.

This paper presents an analysis of the records obtained during a series of four flights, carried out by means of expandible balloons, which reached a maximum altitude equivalent to a 12 mb pressure. The launchings took place at Buenos Aires. The transported equipment was constituted by one enriched counter and one normal surrounded by 2,5 cm of paraffin and 0,5 mm of Cd. The system was sensitive to neutrons within the energy range of 0,01 to 1 Mev.

The position of the maximum transition at 10,6 Gv was  $98 \pm 3$  mb., value which agrees with the one expected according to the variation in latitude predicted by Lingelfelter and with the experimental results obtained by Holt, Mendell and Korff.

The counting on top of the atmosphere was estimated through extrapolation, representing roughly a 33% of the maximum counting. This is a very high value compared to the ones obtained in other works.

## INTRODUCCION

El espectro de energías y la distribución en alturas del flujo de neutrones, en y más allá de la atmósfera, tiene varias consecuencias interesantes que han estimulado el interés de diferentes investigadores en el estudio de estas partículas.

Los neutrones producen en la atmósfera isótopos radiactivos tales como  $C^{14}$  y el  $H^3$ , al ser capturados por el nitrógeno atmosférico según las reacciones:



La sección eficaz para la primera de estas reacciones es inversamente proporcional a la velocidad del neutrón; por tanto esta reacción tiene lugar a bajas energías. Ello da origen a que el espectro de los neutrones restantes de bajas energías, que no experimentaron este proceso, no responda totalmente a la distribución ideal de Maxwell-Boltzmann correspondiente a la temperatura del medio.

Alrededor de la mitad de los neutrones producidos en la atmósfera, una vez moderados a través de dispersiones inelásticas y elásticas, son capturados para formar  $C^{14}$ . En tanto, sólo un pequeño porcentaje del total es capturado en la formación de tritio, proceso que ocurre a energías más altas que la reacción del  $C^{14}$ .

Ambos isótopos son de interés, el  $C^{14}$  en arqueología y el tritio en glaciología, entre otras disciplinas.

Para calcular las diferentes velocidades de producción es importante conocer la intensidad absoluta de la fuente, que a su vez requiere un conocimiento del espectro de los neutrones en función de la altura y de la latitud.

Por otra parte, cualquier mecanismo que produzca cambios, tanto en el espectro como en el valor del flujo de neutrones en la atmósfera, influirá en la producción de estos isótopos. Por ello, el conocimiento de las variaciones temporales en la componente neutrónica es interesante y de importancia para las mencionadas disciplinas.

También es útil el estudio de los neutrones dispersados desde la atmósfera hacia el espacio (albedo de neutrones) para considerar la importancia de estos neutrones como uno de los mecanismos de inyección para la radiación atrapada geomagnéticamente. Poco después del descubrimiento de la radiación de Van Allen, varios investigadores, Hess (1959), Kellogg (1959), Singer (1959), sugirieron que el albedo de neutrones era el mecanismo de inyección primario para los protones y electrones atrapados geomagnéticamente.

El albedo de neutrones es fuente de partículas cargadas, ya que los neutrones, una vez extraídos de los núcleos, son inestables, desintegrándose en libre vuelo según el esquema:



con una vida media de  $\tau = 1010 \pm 25$  seg.

Cualquier evaluación del mecanismo de atrape, para partículas cargadas provenientes de esta fuente, requiere el conocimiento del flujo y del espectro de energías de los neutrones que escapan de la atmósfera, así como sus variaciones espaciales y temporales. Diversos trabajos fueron realizados con este propósito.

Los primeros cálculos efectuados por Kellogg (1959), Hess (1959), Hess et al (1961), y Newkirk (1963), fueron hechos a determinadas latitudes y para determinadas épocas.

Los cálculos de Lingenfelter (1963), incluyeron las variaciones de la radiación cósmica con la latitud, altura y tiempo, durante el ciclo solar. De este trabajo se desprende la dependencia temporal y en latitud del albedo de neutrones. Dichos cálculos fueron ampliados por Lingenfelter y Flamm (1964), al considerar la producción y escape de los neutrones liberados en los eventos originados por los protones solares.

Posteriormente, Dragt y otros (1966), así como Hess y Killeen (1966), utilizaron estos cálculos para determinar cuantitativamente la contribución de esta fuente a los anillos de radiación.

De dichos trabajos surgió que tanto la desintegración de los neutrones de albedo, producidos por interacción de los protones solares con núcleos atmosféricos (SPAND\* INJECTION), como la desintegración de los neutrones solares en la magnetósfera, constituyen una fuente insignificante de protones atrapados en los anillos de radiación.

No obstante, Hess y Killeen indican que la desintegración de los neutrones producidos por la radiación cósmica y que escapan de la atmósfera (CRAND\*\* INJECTION) puede ser la principal fuente del flujo de protones atrapados con energía  $E > 20$  Mev. En cambio Dragt y colegas observan que los protones atrapados con  $E > 20$  Mev solo pueden ser explicados por este mecanismo si la intensidad de la fuente fuera 50 veces mayor a los valores utilizados, a fin de compensar las pérdidas de protones por los diferentes procesos que tienen lugar en esa región.

Concordando en ambos trabajos que para protones atrapados con  $E < 20$  Mev, el albedo de neutrones provenientes de la radiación cósmica, es, como única fuente, inadecuada para producir los registrados flujos de neutrones.

Por otra parte parece ser que el espectro de protones atrapados de alta energía ( $E > 50$  Mev) es explicado en forma adecuada por la teoría CRAND, al menos, en la región  $1,2 \leq L \leq 1,4$  (Lenchek and Singer, 1963).

En cuanto al electrón como componente de la radiación atrapada, se hace muy difícil creer que el proceso CRAND sea su única fuente. La razón principal de este escepticismo es el valor observado del decaimiento del flujo de electrones inyectado por la explosión termonuclear Starfish ocurrida el 9 de julio de 1962, a 400 km de altura sobre la isla de Johnston. Parece ser que el valor del decaimiento es demasiado grande para poder ser balanceado por el albedo de neutrones (Hess, 1963).

De todas formas, un juicio final de la teoría de la desintegración del albedo de neutrones debe esperar (Haymes, 1965):

- 1) Un mejor conocimiento de los procesos que controlan el comportamiento a largo plazo de los protones atrapados.
- 2) Una mejor información sobre el albedo de neutrones.

Esto último es importante, ya que hay una cantidad de datos contradictorios sobre el albedo de neutrones, no habiendo concordancia en los resultados aún ante experiencias realizadas a igual altura y en la misma época.

Esto se debe a que los resultados de experiencias efectuadas fuera de la atmósfera son confusos, debido a que las mediciones se ven seriamente contaminadas por los neutrones localmente producidos en la masa del vehículo.

En cuanto a las mediciones realizadas mediante globos, si bien permiten reducir el problema de la producción local, tienen el inconveniente de que deben extrapolarse los resultados obtenidos, al tope de la atmósfera, para estimar el albedo.

\* SPAND: Solar proton albedo neutron decay.

\*\* CRAND: Cosmic ray albedo neutron decay.

Esta breve introducción evidencia el motivo del interés, en el estudio de los neutrones atmosféricos, que nos llevó a planear un conjunto de experiencias que se inician con "Efectos del fondo en la determinación de los parámetros característicos de la componente neutrónica" (Fritz-Cicchini, 1970) y de las cuales el presente trabajo forma parte.

Nuestro propósito es realizar un estudio en altura y latitud de los neutrones atmosféricos, en el rango de energías en que la mayoría de esos neutrones son creados en los procesos de evaporación.

En este trabajo, si bien todos los registros fueron obtenidos en la atmósfera, la altura alcanzada por nuestros equipos (12 mb) nos permitió estimar el flujo de neutrones que escapa de la atmósfera, por extrapolación. Además, la mayor altura alcanzada en esta serie de vuelos, nos permitió confirmar los resultados de la experiencia anterior y estudiar el efecto del fondo hasta los 12 mb.

En cuanto a la producción local, nos basamos para su corrección en el trabajo de Bøella et al (1965).

### **APARATOS**

Los aparatos se describen en el trabajo "Efectos del fondo en la determinación de los parámetros característicos de la componente neutrónica" (Fritz-Cicchini, 1970).

### **RESULTADOS EXPERIMENTALES**

En este trabajo estudiamos los registros obtenidos en cuatro lanzamientos, los tres primeros nocturnos, todos realizados en Buenos Aires, en 34°, 58 S.; 58°, 50 O.;  $R = 10,6$  Gv (Según tablã C. J. Phy., 46, S 1098-1101, 1968).

El primero de estos lanzamientos, (Vuelo N° 16), fue realizado el día 20 de enero de 1970, a las 21,30 H.L.. La duración del vuelo fue de 312 minutos, alcanzándose una altura máxima equivalente a una presión de 36 mb., y manteniéndose a una altura equivalente a una presión de aproximadamente 38 mb, durante 234 minutos. El segundo (Vuelo N° 19), fue realizado el día 23 de enero de 1970, a 21,55 H. L. La duración del vuelo fue de 216 minutos, alcanzándose una altura máxima equivalente a una presión de 37 mb., y manteniéndose a una altura equivalente a una presión de aproximadamente 38 mb., durante 159 minutos.

El tercero (Vuelo N° 21), fue realizado el día 22 de enero de 1971, a las 02,30 H.L. La duración del vuelo fue de 108 minutos, alcanzándose una altura máxima de 30.200 metros (12 mb.).

El cuarto lanzamiento (Vuelo N° 22), fue realizado el 22 de enero de 1971, a las 06,00 H.L. La duración del vuelo fue de 58 minutos, alcanzándose una altura máxima equivalente a una presión de 16 mb.

Los datos de los cuatro vuelos para espesores atmosféricos inferiores a los 150 mb, corregido el fondo y la producción local en el detector, fueron agrupados en la Tabla I a fin de determinar el espesor atmosférico en que se registra el máximo conteo y, por extrapolación en la curva obtenida con los datos experimentales, tratar de estimar el conteo al tope de la atmósfera.

En la Figura 1 representamos el conteo, corregido el fondo y la producción local, en función del espesor atmosférico, para espesores inferiores a los 150 mb.

Consideramos, como hipótesis de trabajo, que la corrección por producción local no está afectada de error.

**. T A B L A I**  
**VALORES OBTENIDOS AGRUPANDO LOS CUATRO VUELOS**

Presión media (m b)	Tiempo (min)	Enriquecido $N_A$ (c.p.m.)	Neutrón $N$ (c.p.m.)	Contaje corregido por producción local $N_c$ (c.p.m.)
140,2	13	$190,1 \pm 3,8$	$190,8 \pm 6,2$	$189,9 \pm 6,2$
126,5	4	$192,0 \pm 6,9$	$196,8 \pm 11,1$	$195,8 \pm 11,1$
115	3	$212,7 \pm 8,4$	$215,8 \pm 13,6$	$214,7 \pm 13,6$
98,8	10	$213,0 \pm 4,6$	$217,3 \pm 7,4$	$216,2 \pm 7,4$
84	8	$199,0 \pm 5,0$	$200,9 \pm 8,1$	$199,9 \pm 8,1$
66	12	$195,6 \pm 4,0$	$198,1 \pm 6,5$	$196,6 \pm 6,5$
55	4	$185,0 \pm 6,8$	$189,1 \pm 10,9$	$187,8 \pm 10,9$
45,5	20	$169,6 \pm 2,9$	$168,6 \pm 4,8$	$167,2 \pm 4,8$
38	357	$143,2 \pm 0,6$	$144,2 \pm 1,0$	$142,8 \pm 1,0$
27	27	$133,1 \pm 2,2$	$134,8 \pm 3,6$	$132,8 \pm 3,6$
14,8	25	$94,5 \pm 1,9$	$95,6 \pm 3,1$	$91,8 \pm 3,1$

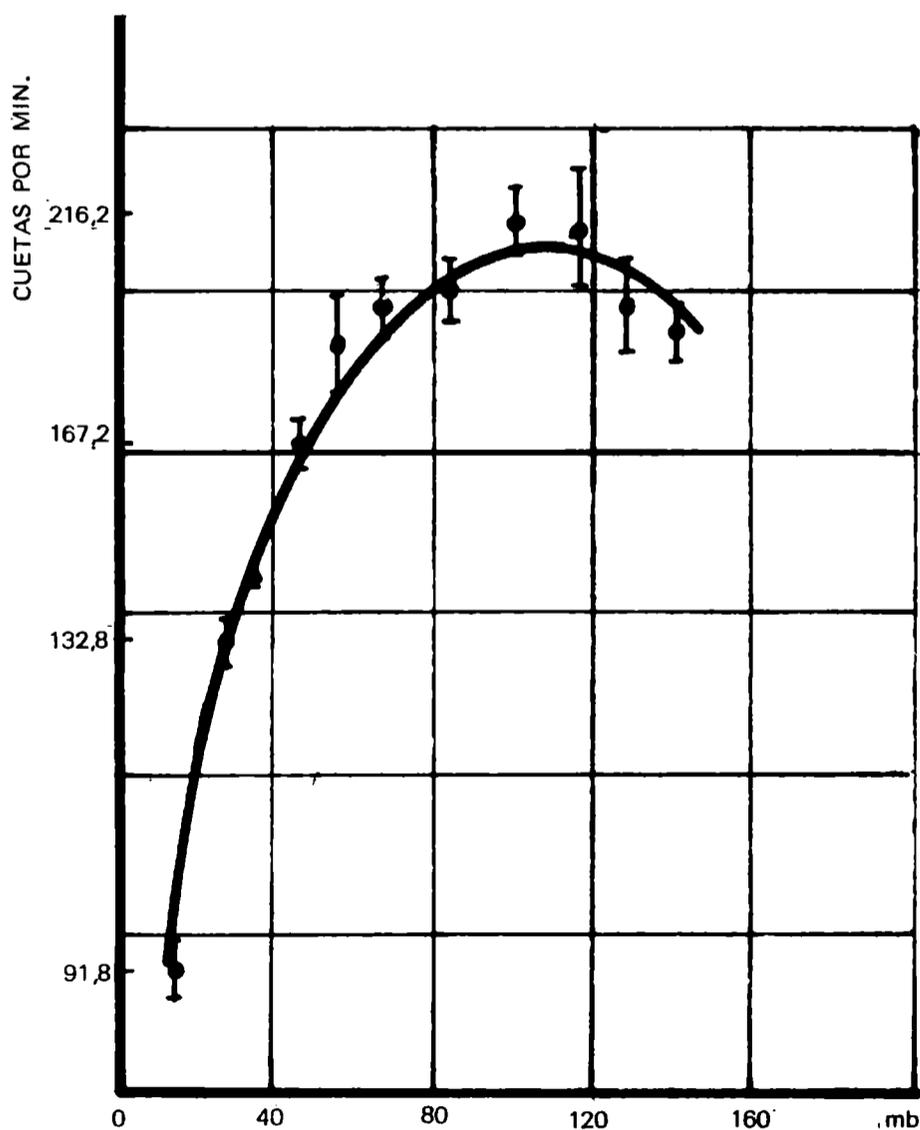


Fig. 1. Contaje en función del espesor atmosférico para el intervalo 0-160 mb (corregido por producción local).

El espesor atmosférico en que se registra el máximo contaje

$$\Theta_{\max} = (98 \pm 3) \text{ mb}$$

siendo el contaje máximo

$$I_m = (219 \pm 10) \text{ c.p.m.}$$

Extrapolando a espesor atmosférico cero, siguiendo la curva obtenida del conjunto de datos experimentales, da un valor del contaje al tope de la atmósfera:

$$I_0 = (74 \pm 4) \text{ c.p.m.}$$

El máximo de transición, así como el contaje al tope de la atmósfera, fueron determinados por el método de los cuadrados mínimos, ajustado a la función.

$$Y = \sum_0^n a_n x^n$$

El contaje al tope de la atmósfera fue también obtenido, extrapolando a espesor atmosférico cero (Altura infinita), siguiendo la curva exponencial encontrada en la región de 45,5 a 14,8 milibares. El valor obtenido:

$$I_0 = (72 \pm 7) \text{ c.p.m.}$$

concuerta dentro del error experimental con el que se obtiene siguiendo la curva obtenida del conjunto de datos experimentales.

## RESUMEN DE NUESTRAS OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

Si comparamos los resultados obtenidos en esta serie de vuelos, en particular el espesor atmosférico en que se registra el máximo contaje, con los obtenidos en otra serie (Cicchini, 1970; Vuelos 12, 15, 17 y 18, Tabla II) no observamos ninguna variación ya que las diferencias están comprendidas dentro del error experimental.

## T A B L A I I

### POSICION DEL MAXIMO DE TRANSICION A 10,6 Gv

Vuelo	Espesores (mb)	Nº de Observac.	Fecha	Posic. máx. transic.(mb)	Contaje máximo $I_m$ (c.p.m.)
12	44 -171	33	27-12-69	$108 \pm 11$	$207 \pm 24$
15	39,5-139	29	20- 1-70	$101 \pm 7$	$215 \pm 18$
17	43,5-160	10	22- 1-70	$112 \pm 8$	$199 \pm 17$
18	47 -168	26	23- 1-70	$110 \pm 10$	$214 \pm 23$
16-19					
	14,8-140,2	483	(*)	$98 \pm 3$	$219 \pm 10$
21-22					

\* Datos correspondientes al presente trabajo.

La posición del máximo de transición y los valores del conteaje máximo para todos los vuelos coinciden dentro del error experimental. Este resultado parece indicar que a la rigidez vertical de corte y para las épocas del año en que fue realizado este trabajo, no se observa ninguna variación de tipo temporal.

En la Figura 2 representamos la posición del máximo de transición para neutrones rápidos en función de la latitud geomagnética. Las cruces representan la dependencia con la latitud calculada por Lingenfelter. Los círculos son los resultados experimentales obtenidos por Holt, Mendell y Korff (1966). El cuadrado es el valor obtenido en esta experiencia (único resultado que corresponde al hemisferio sur).

Como puede verse en la Figura 2, nuestro resultado concuerda con la variación en latitud predicha por Lingenfelter y con los resultados experimentales obtenidos por Holt, Mendell y Korff.

No ocurre lo mismo si comparamos el flujo obtenido al tope de la atmósfera con los valores dados por otros investigadores.

En efecto, el conteaje al tope de la atmósfera representa aproximadamente un 34% del conteaje máximo. Valor muy alto si lo comparamos con el obtenido en otros trabajos (Tabla III).

**T A B L A III**

Medición	Año	Lat. Geomag. (grado)	Espesor atmosf. alcanzado (mb)	$I_0$ %/ $I_m$	Energías Mev
Boella et al	1963	46° N	4	10	0,01 — 1
Holt et al	1965	17° N	3,8	18	1 — 10
Fritz-Cicchini	1970-71	23° S	12	34	0,01 — 1

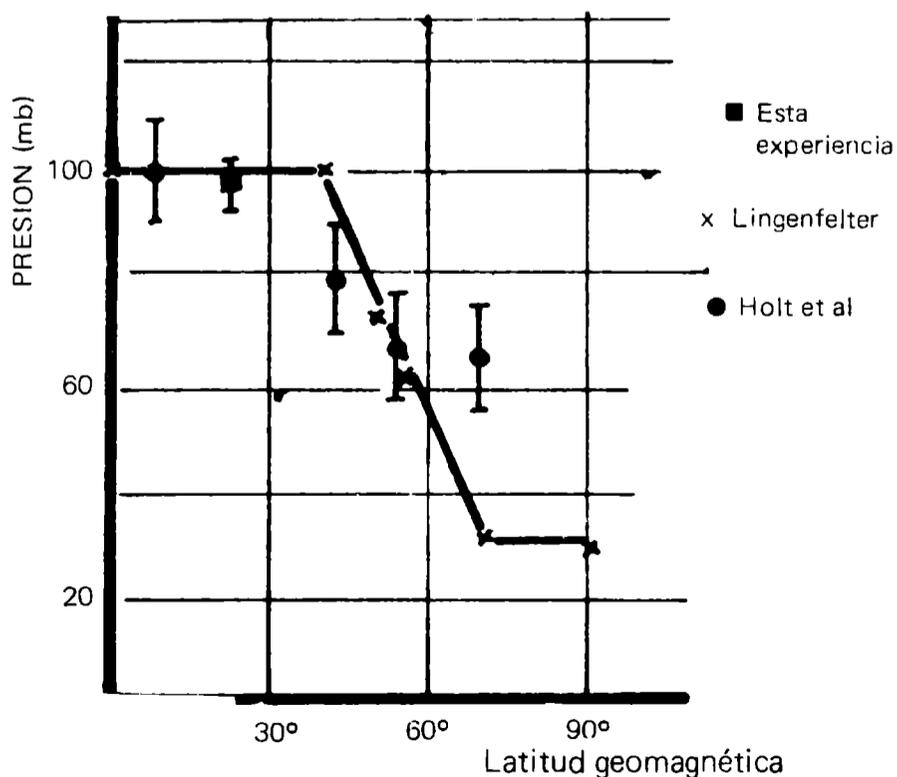


Fig. 2. Posición del máximo de transición para neutrones rápidos en función de la latitud geomagnética.

Este valor del contaje al tope de la atmósfera, superior al que podría esperarse para la latitud en que fue realizada la experiencia, puede deberse a:

- 1) La corrección por producción local, que puede ser superior a los valores por nosotros estimados;
- 2) La altura alcanzada en esta serie de vuelos, que es inferior a la alcanzada por los otros investigadores, lo que hace que el error que cometemos al extrapolar, aumente.

Hasta no tener mayor información sobre los puntos 1), y 2), no podemos formular ninguna hipótesis acerca de este aparentemente anómalo resultado.

## BIBLIOGRAFIA

- BOELLA, G., DEGHI ANTONI, G., DILWORTH, C., PANETTI, M., and SCARSI, L.;** (1965): *Measurement of the Cosmic Ray Neutron Flux at 4, 6 Billion Volts Geomagnetic Cutoff Rigidity*; *J. Geophys. Res.*, 70, 1019 - 1030.
- DRAGT, A. J., AUSTIN, M. M., and WHITE, R. S.;** (1966): *Cosmic ray and solar proton albedo neutron decay injection*; *J. Geophys. Res.*, 71, 1293.
- HAYMES, R. C.;** (1965): *Terrestrial and Solar Neutrons*; *Rev. of Geophysics*, Vol 3-Nº 3, 345-364.
- HESS, W. N.;** (1959): *Van Allen belt protons from cosmic-ray neutron leakage*; *Phys. Rev. Letters*, 3, 11-13.
- HESS, W. N., CANFIELD, E. H., and LINGENFELTER, R. E.;** (1961): *Cosmic Ray neutron demography*; *J. Geophys. Res.*, 66, 665.
- HESS, W. N., (Ed);** (1963): *Collected papers on the artificial radiation belt from the July 9, 1962, nuclear detonation*; *J. Geophys. Res.*, 68, 605-758.
- HESS, W. N., and KILLEEN, J.;** (1966): *Spatial distribution of protons from neutron decay trapped by the geomagnetic field*; *J. Geophys. Res.*, 71, 2799.
- HOLT, S. S., MENDELL, R. B., and KORFF, S. A.;** (1966): *Fast Neutron Latitude Variations in the Atmosphere at Solar Minimum*; *J. Geophys. Res.*, 71 5109.
- FRITZ, N. S. S., CICCHINI, A. A.;** (1970): *Efectos del Fondo en la Determinación de los Parámetros Característicos de la Componente Neutrónica*; *Escuela Superior Técnica - Universidad Tecnológica Nacional, - Publicación interna, Nro 6*
- KELLOGG, P. J.;** (1959): *Possible explanation of the radiation observed by Van Allen at high altitudes in satellites*; *Nuevo Cimento*, 11, 48-66.
- LENCHEK, A. M., and SINGER, S. F.;** (1963): *The albedo neutron theory of geomagnetically trapped protons*; *Planetary Space Sci.*, 11, 1151-1208.
- lin*
- LINGENFELTER, R. E., and FLAMM, E. J.;** (1964): *Neutron leakage from interactions of solar protons in the atmosphere*; *J. Geophys. Res.*, 69, 2199.
- LINGENFELTER, R. E.;** (1963): *The cosmic ray neutron leakage flux*; *J. Geophys. Res.*, 68 5633.
- NEWKIRK, L. L.;** (1963): *Calculation of the low - energy neutron flux in the atmosphere by the Sn method*; *J. Geophys. Res.*, 68, 1825.
- SINGER, S. F.;** (1959): *Cause of the minimum in the earth's radiation belt*; *Phys. Rev. Letters*, 3, 188-190.

## PERFILES GEOFISICOS PROSPECTIVOS REGIONALES EN LA PATAGONIA

M. CESANELLI y P. LESTA  
Yacimientos Petrolíferos Fiscales

**Como contribución de Yacimientos Petrolíferos Fiscales al Proyecto del Manto Superior, se presentan perfiles geofísicos de reflexión y refracción sísmica, gravedad y magnetismo; unos orientados N-S, sobre el meridiano 68° O; los otros orientados E-O, sobre el paralelo 48° S. -Se hace la discusión geofísica de los perfiles y la correlación con la información geológica superficial y sub-superficial.**

**As a contribution of Yacimientos Petrolíferos Fiscales to the Upper Mantle Project geophysical profiles of seismic reflection and refraction, gravity and magnetism are presented; some of them N-S oriented along the meridian 68° W, and others E-W oriented along the latitude 48° S. Geophysical discussion of the profiles as well as their correlation with surface and sub-surface geological information are made.**

Para colaborar en la Empresa Científica denominada Proyecto del Manto Superior, Yacimientos Petrolíferos Fiscales decidió aportar datos geofísicos y geológicos extractados de la información obtenida de las tareas que desarrolla normalmente por medio de su Gerencia de Exploración, destinada especialmente a prospección petrolífera.

El aporte de datos geofísicos se ha condensado en perfiles Norte-Sur sobre el meridiano 68, y Este-Oeste sobre el paralelo 48, ya sea directamente registrados en campaña o interpolados de planos del área donde oportunamente el Comité Argentino del Manto Superior había recomendado efectuar la geotransversal.

El aporte geológico en esencia lo constituye la información regional pertinente a tal área y la correlación geológico-geofísico de los perfiles geofísicos presentados.

### A) Información Geofísica

Se presentan en dos grupos, uno N-S y otro E-O, perfiles de los clásicos métodos de exploración geofísica, conteniendo información de:

- a) Sísmica de reflexión
- b) Sísmica de refracción
- c) Gravimétricos
- d) Magnetométricos

En todos los casos se ha tratado en lo posible de hacer coincidir el trazado de los perfiles, tanto en su ubicación planimétrica como en longitud. Sin embargo, según puede verse en los planos de las figuras N° 1 y 2, es evidente que no hay una coincidencia total, en especial en las secciones E-O, donde además debe destacarse que, en lo referente al Golfo San Jorge propiamente dicho, sólo dispone YPF de información de sísmica de reflexión.

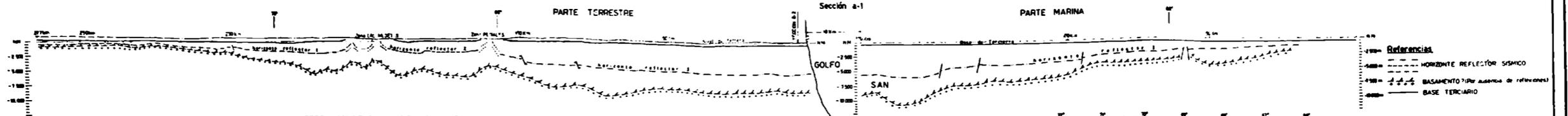
A fin de facilitar su comparación, sobre un mismo gráfico se han dibujado los perfiles geofísicos coincidentes o próximos, haciendo coincidir verticalmente los meridianos y consignando la respectiva ubicación en el plano correspondiente.

Las secciones sísmicas se han presentado en forma anamórfica, siendo la exageración vertical de 2 a 1. En los perfiles gravimétricos y magnetométricos se ha mantenido la misma escala horizontal pero se han adaptado escalas verticales compatibles con el dibujo.

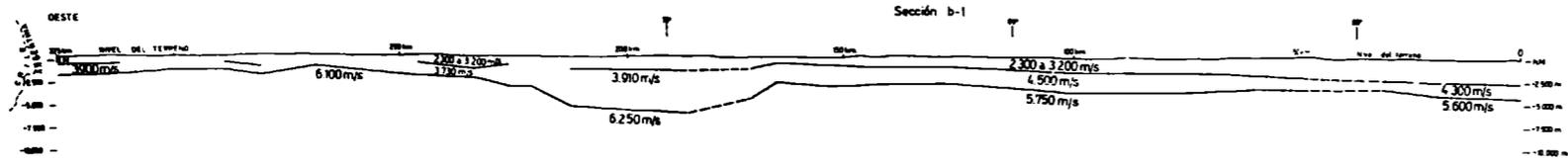
Como puede observarse, el perfil más extenso corresponde a la sección sísmica de reflexión E-O con un total de 440 km, de los cuales 170 km corresponden a sectores bajo el mar. La sección de refracción correspondiente ofrece un corte completo del territorio argentino en las proximidades del paralelo 46°, extendiéndose desde el mar hasta las proximidades del límite con la República de Chile.

Las características de los perfiles geofísicos son:

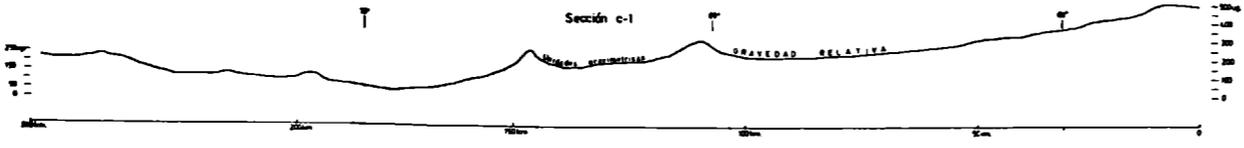
PERFIL TRANSVERSAL SISMICO DE REFLEXION ESTE-OESTE (Paralelo 46)



PERFIL LONGITUDINAL SISMICO DE REFRACCION ESTE-OESTE (Paralelo 46)



PERFIL LONGITUDINAL GRAVIMETRICO ESTE-OESTE (Paralelo 46)



PERFIL LONGITUDINAL MAGNETOMETRICO ESTE-OESTE (Paralelo 46)

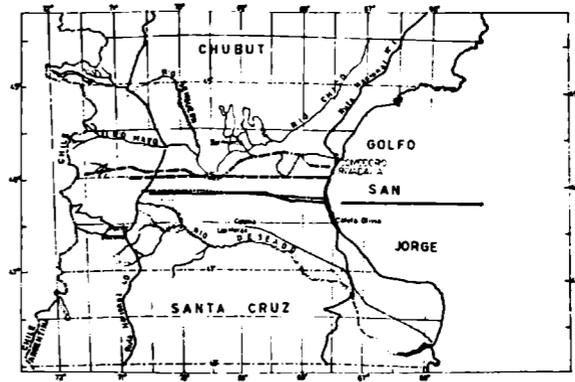
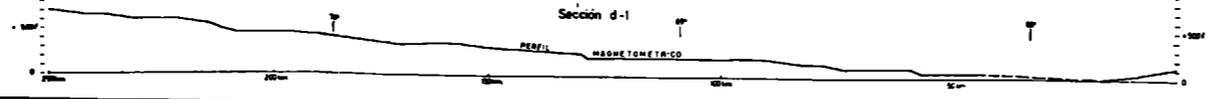


Figura 2

PLANO DE UBICACION Y SECCIONES TRANSVERSALES ESTE-OESTE



a) **Sísmica de reflexión:** Se registró para fines netamente explorativos. En la zona terrestre se utilizó el explosivo en pozos como fuente de energía, con equipos de registración magnética y cobertura múltiple de 6 sumas; trabajos efectuados durante los años 1968, 1969 y 1970.

En el área fuera de costa se registró y procesó en forma digital, usando cañón de aire como sistema de energía y suma de 12.

Los perfiles presentados corresponden a una simplificación de los datos originales de las secciones sísmicas, suficiente a los fines que se persiguen.

El intérprete ha marcado con trazos característicos, aclarados en los gráficos, distintos niveles sísmicos notables o de mayor carácter: Con trazo entero se ha dibujado el promedio de las reflexiones que se aproximan a la base del Terciario; con trazo discontinuo, que cambia de diseño cuando el horizonte reflector no corresponde a un mismo nivel geológico, se ha marcado una reflexión característica perteneciente, probablemente, a la sección inferior del Cretácico o Jurásico Superior. Finalmente se ha marcado el "basamento sísmico", interpretándolo como el límite de las reflexiones reconocibles, y que puede estar alejado o no del verdadero basamento cristalino.

La información original utilizada es de muy alta calidad resolutive.

b) **Sísmica de refracción:** Se trata de la registración efectuada hasta el año 1953 por equipo sísmico de registración fotográfica. Corresponde a varias determinaciones de longitud entre 8 y 10 km, interpretadas en perfil continuo.

Dadas las condiciones de la cuenca, las velocidades no son fácilmente correlacionables con niveles geológicos; consecuentemente, las altas velocidades del orden de los 5500 m/s no deben interpretarse como correspondiendo seguramente a basamento.

Las velocidades del orden de los 4500 m/s corresponderían a Cretácico Inferior - Jurásico Superior.

### c) **Perfiles gravimétricos**

Registrados hasta el año 1947 con gravímetro Mott-Smith, con 1,2 mg/división de constante del dial de lectura.

El perfil ha sido obtenido de un plano 1: 100.000 que se efectuara con mediciones por rutas y huellas, cerrando polígonos. En el cálculo de los valores gravimétricos se utilizó una constante altimétrica de 0,255 mgal/m; densidad = 2,0 g/cm<sup>3</sup>; corrección por altitud calculada entre paralelos 45° y 46° igual a 0,81214 mgal/km.

Es interesante destacar el máximo gravífico concordante con el centro de cuenca en el corte N-S, y que también se manifiesta con un continuo aumento de la gravedad hacia la costa en el corte E-O, sin que llegue a la inversión de pendiente dado la carencia de mediciones en el mar.

### d) **Perfiles magnetométricos**

Valores registrados hasta el año 1947 con magnetómetro de componente vertical Ruska, con escala de lectura de 12 gamas/div.

El perfil presentado se ha deducido de un plano 1: 200.000 trazado con valores de mediciones por rutas y huellas, cerrando polígonos.

**B) Correlación entre la información sísmica y la estratigráfica**

Se procedió analizando la información sísmica primero, luego la estratigráfica y finalmente la correlación entre ambas.

**I Información sísmica:** El análisis de la información sísmica obtenida permite diferenciar en el perfil de reflexión, de abajo hacia arriba, cuatro zonas perfectamente definidas:

a) Una zona inferior que se la considera genéricamente como "basamento" por que no presenta continuidad ni orden en las reflexiones, lo cual se toma como indicio de la falta de secciones sedimentarias. Lógicamente el límite superior de esta sección se define donde se inician las reflexiones continuas.

b) Una zona de reflexiones fuertes, muy bien definidas y en general continuas, que se adosan sobre este "basamento". Solamente se hacen algo imprecisas en los bordes de la cuenca. El límite superior de esta zona está dado por la desaparición de las citadas reflexiones continuas.

c) Una zona sobrepuesta a esta última, de reflexiones más débiles y no tan continuas, que en los bordes de la cuenca rebasa a las anteriores.

d) Una faja de reflexiones prácticamente tabulares, subhorizontales, que está sobrepuesta a las anteriores y ocasionalmente las corta discordantemente.

**II Información estratigráfica:** Desde el punto de vista estratigráfico, la información de subsuelo, aportada por los pozos, se puede resumir en las siguientes entidades diferenciadas por Lesta (1968):

1) **Basamento:** Constituido por rocas graníticas y metamórficas; registrado exclusivamente en los bordes de la cuenca por sondeos allí efectuados.

Se estima una edad Eopaleozoica a Precámbrica.

2) **Formación Chon Aike:** Mantos de pórfidos cuarcíferos y rocas asociadas de espesor variable, registrados en pozos y en afloramientos en las zonas marginales de la cuenca. Aparentemente se adelgaza hacia el centro de la misma. Pertenecen al Mesozoico (Dogger).

3) **Formación Pozo D.129 y afines:** Constituida por sedimentos finos, calcáreos oolíticos, tobas silicificadas, lutitas negras, y muy aisladamente por areniscas cuarcíticas. El espesor del conjunto incrementa hacia el centro de la cuenca. La edad comprobada por palinología los ubica en el Jurásico Superior - Cretácico Inferior. La definición litoestratigráfica de esta formación en el subsuelo (no se la conoce en afloramientos) está dada por la presencia de calcáreos oolíticos asociados a los mencionados sedimentos. En el centro de la cuenca dichos calcáreos oolíticos no se presentan, por lo que no se puede definir exactamente el límite superior de esta formación.

Por otra parte, en coincidencia con la parte central de la cuenca se ha comprobado una fuerte silicificación epigenética de estos sedimentos (Riggi, 1969). La significación de este hecho se discutirá más adelante.

4) **Grupo del Chubut:** Sobrepuesto a la Formación D 129 y rebasándola se sitúa el denominado Grupo del Chubut, constituido por tobas, tufitas, areniscas líticas y secciones arcillosas de colores claros, grises, verdosos, rojizos y pardos. Se trata de una sedimentación de llanura aluvial a deltaica, con rápidas variaciones laterales.

Está compuesto por varias formaciones litoestratigráfica cuyos límites están en general interdigitados. En este caso, para simplificar el cuadro, se incluye dentro de este grupo una formación que se superpone a él en leve discordancia. La edad del conjunto es Cretácica, predominantemente Inferior a Media.

El espesor de esta formación incrementa asimismo hacia el centro de la cuenca.

5) **Terciario:** Los sedimentos terciarios se inician con arcillas y areniscas glauconíticos de la ingesión marina del Paleoceno denominada Formación Salamanca. Esta ingesión ha llegado hacia el Oeste hasta el meridiano 69° aproximadamente. Estos sedimentos marinos soportan sedimentos continentales posteriores, que rebasan hacia el Oeste, luego de los cuales una nueva ingesión marina se extiende casi totalmente sobre la cuenca. Los sedimentos del mar Patagoniano vuelven a ser cubiertos por areniscas continentales.

Todos estos acontecimientos se desarrollan entre el Eoceno y el Plioceno.

Por encima de esos sedimentos se disponen los niveles terrazados Plio-Pleistocenos.

### III Correlación

La correlación de la zona sísmica descrita en el apartado I-a) con el basamento, o con la Formación Chon Aike, es indudable. Lamentablemente, donde no hay datos de pozos es imposible diferenciarlas en base a la información sísmica solamente, de manera que probablemente se está involucrando dentro de esta zona rocas de muy distintas edades. También es posible que en las áreas donde el "basamento" esté marcado por la formación Chon Aike existan por debajo sedimentos de edad pre-doggeriana.

La correlación entre la sección descrita en el apartado I-b) y la Formación Pozo D 129 y afines es aceptable en líneas generales. Se considera que en la parte basal podrían estar representados sedimentos más antiguos que el Jurásico Superior, hasta ahora no reconocidos en los testigos de pozos.

El límite superior de la mencionada sección puede no coincidir exactamente con el límite litoestratigráfico, debido a la presencia ya mencionada de sílice epigenético en los sedimentos, lo que por su poder reflector puede hacer variar las condiciones de transmisión de ondas sísmicas independientemente de los planos estratigráficos.

Por otra parte la continuidad de la reflexión del tope, hacia el oeste se ve interrumpida al pasar de un flanco a otro de pliegues anticlinales, por lo que no se tiene la seguridad que siempre represente el mismo nivel estratigráfico.

La correlación entre la sección descrita en I-c) con el Grupo del Chubut también es indudable, no pudiéndose diferenciar las distintas formaciones que constituyen el último Grupo por presentar, como se ha mencionado, relaciones de interdigitación.

La correlación entre la sección descrita en I-d) y el Terciario no presenta problemas, pudiéndose seguir fácilmente la representación sísmica de estos sedimentos.

**B I B L I O G R A F I A**

- LESTA P., 1968: Estratigrafía de la Cuenca del Golfo de San Jorge. Actas de las Terceras Jornadas Geológicas; Bs. As.*
- RIGGI, J. C., 1969: Descripción de un testigo del pozo Punta Delgada, Pcia. de Santa Cruz. Inédito, Departamento de Investigación y Desarrollo de YPF; Florencio Varela, Bs. As.*

## **ANTEPROYECTO ARGENTINO DE UN BUQUE OCEANOGRAFICO**

RODOLFO N. PANZARINI  
EDUARDO A. CEBALLOS

Se describe el anteproyecto de un buque oceanográfico para la Armada Argentina presentado por Astilleros Argentinos Río de la Plata, S.A. (ASTARSA).

The preliminary design of an oceanographic ship for the Argentine Navy as presented by Astilleros Argentinos Río de la Plata, S. A. (ASTARSA), is described.

## INTRODUCCION

En 1969, la Armada Argentina llamó a un concurso internacional de "Pedido de Precios" para la construcción en el país de un buque hidrográfico y otro oceanográfico; y el diseño de los anteproyectos que ASTARSA - Astilleros Argentinos Río de la Plata, S.A. presentó, fueron encomendados a TECNASTAR, S.A. de Buenos Aires.

Los anteproyectos debieron realizarse ajustándose a las especificaciones del Pliego de Condiciones que corresponden a las características básicas de los buques y a sus requerimientos técnicos específicos, pero también a cuestiones que hacen al régimen del contrato de construcción y que juegan para decidir la adjudicación.

## ESPECIFICACIONES BASICAS

Un buque oceanográfico destinado a obtener en el mar la información necesaria para la investigación científica del océano en lo físico, químico, geológico, biológico y de interacción con los medios que le son adyacentes, debe reunir ciertas cualidades que afectan sus características como embarcación y las de sus instalaciones específicas, sujetas a las condiciones imperantes en la región en la que habrá de actuar.

Se estableció que para que el buque pueda desempeñarse bien en cualquier mar del mundo, normalmente en el Atlántico Sur, dentro y fuera de la plataforma continental y en aguas polares con hasta 4/10 de hielo joven, las especificaciones básicas a satisfacer serían: a) buenas cualidades marineras y casco reforzado de forma apropiada para operar en zonas tempestuosas y mares con hielo; b) dimensiones lo menores posible; c) buen gobierno a velocidades bajas y no tender a meter la popa al viento estando al garete; d) fácil maniobra estando en estación oceanográfica o entre hielos; e) instalaciones de conducción y gobierno independientes de las de labor oceanográfica; f) distribución apropiada de las instalaciones y locales del trabajo oceanográfico, estabilidad de plataforma, cubierta de trabajo baja y andar silencioso y sin vibraciones; g) mucho espacio libre en cubierta, especialmente en popa y al costado, y tener como fondear en grandes profundidades; y h) radio de acción, autonomía, velocidad, habitabilidad y arreglo general adecuados.

## CARACTERISTICAS ESPECIFICAS

Para el cumplimiento eficaz de las observaciones y colecciones que debe realizar en la atmósfera, la superficie y el seno del mar, el fondo y el subsuelo oceánico, además de otras como las vinculadas a los campos gravitacional y geomagnético; los instrumentos, locales, gabinetes e instalaciones, equipos, materiales y medios de comunicación habrán de permitirle: a) determinar la más precisa posición en el mar; b) hacer observaciones meteorológicas de superficie y altura; c) obtener muestras de agua y temperaturas en profundidad, y realizar lanzamientos batitermográficos y batitermohalinográficos; d) hacer mediciones de corrientes, olas y propagación

del sonido, y realizar estudios de materia particulada en suspensión, de hielo en el mar y de las diversas propiedades físicas del agua; e) cumplir investigaciones químicas y de producción primaria del mar, coleccionar plancton de superficie y profundidad, animales invertebrados y vertebrados pelágicos y bentónicos, así como aves e insectos del aire, y realizar estudios de biología y bacteriología marinas; f) llevar a cabo batimetría de precisión, extraer muestras superficiales y testigos de sedimento del fondo, medir la transferencia de calor del fondo al mar, hacer prospección sísmica, sacar fotografías del suelo marino y explorar en profundidad con minisubmarino; y g) realizar determinaciones de la gravedad, prospección magnética, sondajes ionosféricos y observaciones de radiación cósmica de superficie y altura.

#### LOS REQUERIMIENTOS Y EL DISEÑO

Los requerimientos básicos y específicos citados influyen de modo especial en el diseño del buque en cuanto a dimensiones y desplazamiento, forma y proporciones, tipo y potencia de las plantas propulsora y eléctrica, velocidad y radio de acción, y tripulación y autonomía.

En particular, el radio de acción y la autonomía exigen valores elevados que se transmiten a las dimensiones y el desplazamiento, y las cualidades marineras afectan la forma y las proporciones que están vinculadas a la índole de las tareas científicas.

El radio de acción no debería ser inferior a las 8.000 millas siendo aceptable una velocidad de crucero de 12 nudos, pero al considerar el tiempo en que el buque está detenido, la autonomía no debería bajar de los 60 días; mientras que las cualidades marineras deben permitir el trabajo científico con olas significativas de hasta 12 pies de altura, manteniéndose seca la cubierta aunque sea baja, y con poco roldo, de período no menor de 10 segundos.

Las instalaciones específicas dependen del programa científico, determinan las necesidades de personal e influyen principalmente en las dimensiones, el desplazamiento y la magnitud de la planta eléctrica; no siendo fácil reducirlas cuando es aconsejable, como ocurre en nuestro caso, no diferir el cultivo de ninguna de las disciplinas que constituyen las ciencias del mar.

La necesidad de que el buque sea silencioso y de andar sin vibraciones, incide en la elección del tipo de máquinas propulsoras y auxiliares y de sus sistemas de fijación; y el hecho de que deberá actuar también en regiones tempestuosas, desconocidas, cubiertas de hielo y alejadas de las rutas transitadas, pesa en la opción de mecanismos más seguros.

## CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Sobre la base de lo dicho y otras estipulaciones del Pliego de Condiciones, las características principales del anteproyecto son:

eslora total	76,00 m
manga moldeada	13,00 m
puntal a cubierta principal	6,40 m
calado medio máximo	4,45 m
desplazamiento	1.900 ton
potencia de propulsión (2 motores)	2.700 CV
potencia eléctrica (4 dinamos)	1.252 KVA
potencia eléctrica de emergencia (1 dinamo)	75 KVA
velocidad de prueba	15,6 nudos
velocidad máxima sostenida	15,0 nudos
radio de acción (a 12 nudos)	12.000 millas
oficiales	10
científicos	9
ayudantes científicos	10
tripulación	54
clasificación del American Bureau of Shipping	clase B para hielo

## ARREGLO GENERAL

Para satisfacer los requisitos señalados, en la construcción del buque se emplearán los materiales, equipos y técnicas correspondientes.

El casco, reforzado para navegar en aguas con hasta 4/10 de hielo joven, tendrá una cubierta principal de proa a popa sobre la que correrá una cubierta superior de unos 4/5 de la eslora, formando el castillo y la cubierta de botes. Desde la mitad de la eslora y hasta la toldilla quedará, sobre la banda de estribor, un pasillo de trabajo ancho.

Debajo de la cubierta principal irá un entrepuente parcialmente interrumpido en la zona de máquinas, que estará por encima de un doble-fondo abarcando casi toda la eslora.

Sobre la cubierta principal habrá una superestructura con alojamientos a proa, e instalaciones y laboratorios científicos hacia popa, guardacalor y alojamientos, gabinetes y alojamientos, y puente de mando; así distribuidos en cuatro niveles.

Los compartimientos estancos serán ocho y habrá un tanque de estabilización antirolido, y en la toldilla que ofrecerá un amplio espacio de trabajo, podrá ubicarse eventualmente un submarino de exploración pequeño; y en la cubierta de botes, a popa, un laboratorio de quita y pon. Una grúa de 10 toneladas servirá la maniobra de éstos, de la bodega y del sacatestigos del fondo. En el castillo estará el equipo para fondear hasta en 1.000 m de profundidad.

El mástil llevará un nido de cuervo amplio con control directo a la máquina para el gobierno desde él en campos de hielo.

La planta propulsora será de dos motores diesel de 1.350 CV sobre una hélice de paso controlable, reforzada para hielo; y a proa habrá una hélice de empuje transversal accionada por un motor eléctrico de 250 CV para que el buque pueda girar prácticamente en un punto.

La planta eléctrica podrá producir energía con un margen del 100% y estará formada por cuatro alternadores de 310 KVA accionados por sendos motores diesel de 370 CV y uno de emergencia de 75 KVA con motor diesel de 90 CV.

La planta frigorífica será de dos compresoras con antecámaras, tres cámaras para víveres y tres a  $-20^{\circ}\text{C}$  para muestras científicas; y la instalación de aire acondicionado para alojamientos, gabinetes y laboratorios estará formada por dos sistemas, de alta velocidad de circulación uno y de baja el otro.

El gobierno y la maniobra contarán con elementos modernos de navegación y comunicaciones, incluso situación por satélite artificial y giro-piloto; el control de máquinas será directo desde el puente, el nido de cuervo o la cubierta; y las embarcaciones menores, dos lanchas y una chalana a motor.

### INSTALACIONES ESPECIFICAS

Para la labor específica habrá, debajo del puente de mando, un gabinete de instrumental electrónico con un sistema de adquisición de datos dotado de cuatro computadoras electrónicas e integrado con todo el instrumental de registro automático para el procesado y almacenamiento de los datos de navegación, oceanografía y meteorología, sondador ionosférico y monitor de radiación cósmica; un gabinete de dibujo; un gabinete de cálculos; un gabinete de meteorología con instrumental para observaciones de superficie, receptor de radiosondajes, y emisor y receptor de radiofascimilado; un local para el inflado de globos sonda; y una biblioteca científico-técnica con capacidad para unos 2.000 volúmenes.

En la cubierta principal y a popa del centro, estarán el laboratorio oceanográfico húmedo con dos guinches con 10.000 m de alambre; el laboratorio de geología con cámara fría para 500 m lineales de testigos del fondo; el laboratorio de química con cámara fría de  $3\text{ m}^3$  para muestras de agua; el laboratorio de biología con acuarios; el laboratorio de bacteriología esterilizable y con acondicionamiento de aire en circuito cerrado; el taller de taxidermia; el laboratorio oceanográfico seco; el cuarto de instrumentos para estriba y recorrido de los no instalados, de uso circunstancial o de repuesto; el guinche del sacatestigos del fondo con 9.000 m de cable; dos guinches para batitermógrafo; un guinche para remolque del magnetómetro; y un guinche de uso general para remolcar equipo científico.

En las cubiertas bajas estarán el laboratorio fotográfico y cuarto oscuro; la cámara fría de especímenes biológicos y glaciológicos; y los locales de centrifugación de agua de mar, del gravímetro, del registrador de olas y del sonar.

### EXPERIENCIA EN EL DISEÑO DE BUQUES OCEANOGRÁFICOS

Mientras se desarrollaba este anteproyecto se publicó un trabajo (Rosenblatt, Serim & Goode, 1970) que conocimos luego y que, el estudio de los diseños estadounidenses materializados y experimentados durante la última década, establece ocho condiciones a ser satisfechas y presenta el nuevo proyecto para los buques oceanográficos de la clase WHEO 701 de 3.725 toneladas de desplazamiento.

Es satisfactorio poder decir que este anteproyecto argentino cumple las ocho condiciones fijadas y que, habida cuenta de las diferencias que resultan de la desigualdad de tamaño, guarda gran semejanza con el citado diseño norteamericano basado en una tan abundante experiencia.

## **BIBLIOGRAFIA**

*Rosenblatt L., Serim F. K. & Goode R. W. (1970): Ten Years of Progress in Research Ship Design: WHEO 701 Class Oceanographic Cutter; The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Paper N° 4. New York.*

## **ANTEPROYECTO ARGENTINO DE UN BUQUE HIDROGRAFICO**

RODOLFO N. PANZARINI  
EDUARDO A. CEBALLOS

**Se describe el anteproyecto de un buque hidrográfico para la Armada Argentina presentado por Astilleros Argentinos Río de la Plata, S.A. (ASTARSA).**

**The preliminary design of a hydrographic surveying ship for the Argentine Navy as presented by Astilleros Argentinos Río de la Plata, S.A. (ASTARSA), is described.**

## INTRODUCCION

En 1969, la Armada Argentina llamó a un concurso internacional de "Pedido de Precios" para la construcción en el país de un buque hidrográfico y otro oceanográfico; y el diseño de los anteproyectos que ASTARSA — Astilleros Argentinos Río de la Plata, S.A. presentó, fueron encomendados a TECNASTAR, S.A. de Buenos Aires.

Los anteproyectos debieron realizarse ajustándose a las especificaciones del Pliego de Condiciones que corresponden a las características básicas de los buques y a sus requerimientos técnicos específicos, pero también a cuestiones que hacen al régimen del contrato de construcción y que juegan para decidir la adjudicación.

## ESPECIFICACIONES BASICAS

Un buque hidrográfico destinado a obtener en el mar información para la confección de cartas y derroteros para la navegación; debe reunir ciertas cualidades que afectan sus características como embarcación y las de sus instalaciones específicas, sujetas a las condiciones imperantes en la región en la que habrá de actuar.

Se estableció que para que el buque pueda desempeñarse bien en el Mar Argentino y en las aguas antárticas con hasta 5/10 de hielo joven, dentro y fuera de la plataforma continental, las especificaciones básicas a satisfacer serían: a) buenas cualidades marineras, casco reforzado y de forma apropiada para operar en zonas tempestuosas y mares con hielo, y poder varar en lugares de grandes mareas; b) dimensiones lo menores posible; c) buen gobierno a velocidades bajas y no tender a meter la popa al viento estando al gárete; d) fácil maniobra en aguas estrechas o con hielo; e) instalaciones de conducción y gobierno independientes de las de labor hidrográfica; f) estabilidad de plataforma y andar silencioso y sin vibraciones; y g) radio de acción, autonomía, velocidad, habitabilidad y arreglo general adecuados.

## CARACTERISTICAS ESPECIFICAS

Para el cumplimiento eficaz de su objeto se asignaron las características específicas siguientes destinadas a que pueda: a) hacer batimetría oceánica y costera desde el talud continental hasta el acceso a los puertos; b) realizar mediciones meteorológicas de superficie y altura, de corrientes y batitermográficas, y determinaciones de la calidad del fondo entro los mismos límites; c) cumplir trabajos geodésicos y topográficos en la costa; coleccionar datos para compilar derroteros y otras publicaciones náuticas; e) experimentar nuevos sistemas de situación y realizar estudios especiales sobre ayudas a la navegación, profundidades, corrientes, mareas, clases de fondo, playas y el ambiente de la orilla y la zona de resaca; y f) proceder a la eliminación de obstáculos para la navegación; y que comprenden los instrumentos, locales, gabinetes, instalaciones, equipos, materiales, y medios de comunicaciones y movilidad por tierra, mar y aire correspondientes a las citadas tareas.

## CARACTERISTICAS PRINCIPALES

Sobre la base de lo que antecede y otras estipulaciones del Pliego de Condiciones, las características principales del anteproyecto son:

eslora total	69.40 m
manga moldeada	12.00 m
puntal a cubierta principal	5.70 m
calado medio máximo	4.15 m
desplazamiento	1.500 ton
potencia de propulsión (2 motores)	1.800 CV
potencia eléctrica (4 dínamos)	900 KVA
potencia eléctrica de emergencia (1 din.)	75 KVA
velocidad de prueba	13,75 nudos
radio de acción (a 12 nudos)	11.000 millas
oficiales	8
científicos	2
ayudantes científicos	12
tripulación	50
clasificación del American Bureau of Shipping	clase B para hielo

## ARREGLO GENERAL

Para satisfacer los requisitos señalados, en la construcción del buque, se emplearán los materiales, equipos y técnicas correspondientes.

El casco, reforzado para navegar en aguas con hasta 5/10 de hielo joven, tendrá una cubierta principal de proa a popa sobre la que correrá una cubierta superior de unos 7/8 de la eslora formando el castillo y la cubierta de botes y a popa de la cual estará la plataforma del helicóptero. Desde la mitad de la eslora y hasta la toldilla quedará, a cada banda, un pasillo de tránsito y trabajo.

Debajo de la cubierta principal irá un entrepuente parcialmente interrumpido en la zona de máquinas, que correrá por encima de un doble-fondo abarcando casi toda la eslora.

Por sobre la cubierta principal irá una superestructura con alojamientos, guardacalor y alojamientos, gabinetes y alojamientos, y puente de mando; así distribuidos en cuatro niveles.

El casco estará dividido en ocho compartimientos estancos y tendrá un tanque de estabilización contra rolidos; sobre la banda de estribor y en la cubierta principal irá la cámara de descompresión para buzos ubicada próxima al consultorio médico-quirúrgico y la enfermería; y en el castillo estará la escotilla de la bodega, que admitirá una camioneta, servida por una grúa de 8 toneladas para poder maniobrar un submarino de exploración pequeño.

El mástil llevará un nido de cuervo amplio con control directo a la máquina para que pueda gobernarse desde él navegando en campos de hielo.

La planta propulsora será de dos motores diesel de 900 CV sobre una hélice de paso controlable y reforzada para hielo. A proa irá una hélice de empuje transversal accionada por un motor eléctrico de 200 CV para que el buque pueda maniobrar girando prácticamente en un punto.

La planta eléctrica podrá producir energía con un margen del 100 % y estará formada por cuatro alternadores de 225 KVA accionados por sendos motores diesel de 300 CV y uno de emergencia de 75 KVA con motor diesel de 90 CV.

La planta frigorífica será de dos compresoras con antecámara, tres cámaras para víveres y una a  $-20^{\circ}$  C para muestras científicas; y la instalación de aire acondicionado para alojamientos, gabinetes y laboratorios, estará formada por dos sistemas separados, de alta velocidad de circulación uno y de baja el otro.

El gobierno y la maniobra contarán con elementos modernos de navegación y comunicaciones, incluso de situación por satélite artificial y giro-piloto.

### INSTALACIONES ESPECIFICAS

Para su labor específica el buque contará con un gabinete hidrográfico equipado con radar con unidad de precisión, equipos de radiolocalización, tres sondas ecoicas, una sonda ecoica de gran profundidad con registrador de precisión, equipo de situación por satélite, sonar perfilador, sistema de adquisición de datos digital, equipo grabador, televisión subácuca con grabador de video, repetidores del instrumental de navegación y controles remotos de radiocomunicaciones; un gabinete de cálculos con una computadora electrónica; un laboratorio fotográfico y cuarto oscuro; un gabinete de meteorología con instrumental para observaciones de superficie, receptor de radiosondajes y emisor y receptor de radiofacsimilado; un local para el inflado de globos meteorológicos; un cuarto de instrumentos no instalados, de uso circunstancial o de repuesto; un depósito de libros de la biblioteca científico-técnica con capacidad para 1.200 volúmenes; una cámara fría a  $-20^{\circ}$  C para ejemplares científicos; un pañol para el material de hidrografía; un pañol de muestras de agua de mar y de sedimentos del fondo; cuatro equipos de buceo autónomo, una cámara de descompresión de  $10 \text{ kg/cm}^2$  para dos buzos y otra individual; cámaras fotográficas y de televisión; pañol de buceo; pañol de explosivos estables; cuatro lanchas hidrográficas de 6 toneladas y 3 días de autonomía con sonda ecoica y equipos de radiolocalización y de comunicaciones de muy alta frecuencia; un helicóptero Alouette III de 500 km de autonomía; dos guinches para batitermógrafo y un pescante rebatible del tipo pórtico en popa para rastreo o el remolque de instrumentos.

**ATLAS CLIMATICO DE SUDAMERICA  
PROYECTO DE LA  
ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL**

JOSE A. J. HOFFMANN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
de la Universidad de Buenos Aires

Servicio Meteorológico Nacional

**Se comunica el plan del Atlas Climático de Sudamérica, correspondiente al Proyecto del Atlas Climático Mundial de la Organización Meteorológica Mundial. El Proyecto Sudamericano se encuentra en ejecución en la Argentina. Se informa sobre el estado actual de los trabajos, estimándose que la confección de las 77 láminas habrá concluido a mediados del año 1972. (·)**

**The plan of the Southamerican Climatic Atlas is transcribed, which corresponds to the World Climatic Atlas Project of the World Meteorological Organization. The Southamerican Project is being carried out in Argentina. The present state of the works is lined out and an estimation on its conclusion (mid 1972) is formulated. (·)**

## 1. ANTECEDENTES

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), al tomar conocimiento de las necesidades técnicas y científicas existentes por la falta de mapas climáticos en escala continental y mundial, encargó a su Comisión de Climatología, la preparación de las especificaciones técnicas para la confección de un atlas climático mundial y solicitó a las asociaciones meteorológicas regionales que colaboraran estrechamente en este proyecto.

En consecuencia, se formaron grupos de trabajo de atlas climáticos en los niveles continental y mundial, que elaboraron los planes respectivos.

## 2. PLAN DEL ATLAS CLIMATICO DE SUDAMERICA

El grupo de trabajo del Atlas Climático de América del Sur preparó el siguiente plan, teniendo en cuenta las resoluciones pertinentes de la OMM.

a) Contenido mínimo del Atlas:

Elementos climáticos	Nº de mapas
1. Precipitación total media	13
2. Tensión de vapor	13
3. Temperatura diaria media	13
4. Media de la temperatura máxima diaria	12
5. Diferencia entre los valores normales de la temperatura diaria del mes más caliente y frío.	1
6. Cantidad total de nubes	13
7. Presión atmosférica al nivel del mar con rosas de viento	12
Total de mapas	77

b) Períodos a utilizar:

La resolución 19 de la Cuarta Reunión de la Asociación Tercera de la OMM (Sudamérica), Quito, 1966, determina que debe utilizarse el período normal de los años 1931-1960. En aquellas regiones en que la densidad de las redes correspondientes a este período es inadecuada, pueden también usarse los períodos de 1941-1960 y de 1951-1960, después de hacer la reducción al período normal 1931-1960, si es posible. Si no fuera posible obtener la densidad requerida, se utilizarán los informes de estaciones auxiliares para otros períodos, luego de reducirlos al período normal 1931-1960.

## 3. PONENTE PARA LA PREPARACION DEL ATLAS CLIMATICO DE SUDAMERICA.

La Asociación Tercera (AR-III) de la OMM, en su cuarta reunión celebrada en Quito (1966) invitó al Dr. José A. J. Hoffmann para actuar como Ponente, encargándole que continúe la labor iniciada por el grupo de trabajo anterior, que acelere la preparación y publicación de mapas que deben ser incluidos en el Atlas Climático

de Sudamérica y que asesore a quienes utilicen los mapas climáticos para su aplicación en la Hidrología, la Agricultura y otros fines de la Climatología Aplicada. La Quinta Reunión de la AR-III celebrada en julio de 1970 en Bogotá, Colombia, volvió a nombrar Ponente para el Atlas Climático de Sudamérica, al autor de este informe.

#### 4. TRABAJOS REALIZADOS DESDE 1967 HASTA DICIEMBRE DE 1970.

El Ponente, asistido por un equipo integrado por personal profesional del Departamento de Meteorología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires y del Servicio Meteorológico Nacional, ha podido efectuar las siguientes tareas.

- a. Colección de los datos climatológicos de toda Sudamérica, necesarios para la confección del Atlas.
- b. Vuelco de los datos climatológicos correspondientes a la subregión extratropical (al Sur de 20° S) sobre cartas en proyección cilíndrica conforme de Gauss; meridiano central 62° W, de escala 1 : 5.000.000.

- c. Trazado de isolíneas correspondientes a los meses de enero, abril, julio y octubre, que permiten disponer para la Subregión extratropical (porción del continente al sur del paralelo 20° S) de las siguientes cartas medias provisionales:

Elementos	Nº de cartas graficadas	Nº de cartas analizadas
Presión atmosférica	12	
Temperatura media	13	4
Tensión de vapor	13	4
Nubosidad	13	4
Temperatura máxima media	12	4
Precipitación	13	5
Precipitación noroeste argentino	13	5

- d. Se ha iniciado el vuelco de la información climatológica disponible para la subregión tropical (porción del continente al norte del paralelo 25° S) contando ya con datos climatológicos de 353 estaciones meteorológicas y 765 estaciones pluviométricas.
- e. Continúa la colección de datos de la zona tropical de Sudamérica.

#### 5. ALGUNOS EJEMPLOS DE LOS NUEVOS MAPAS CLIMATICOS

A título ilustrativo se presentaron (AAGG, 6ª R.C.), los siguientes campos climáticos medios (período 1931-1960) correspondientes a la zona extratropical de América del Sur.

- a. Precipitación anual.
- b. Tensión de vapor, temperatura media, temperatura máxima media y nubosidad correspondiente al mes de enero.
- c. Precipitación anual del Noroeste Argentino.

## 6. PERSPECTIVAS

Se estima que a mediados del año 1972 podrán entregarse a la OMM las láminas de temperatura media y precipitación media (13 mapas de c/u) para su impresión. (\*)

(\*) Estimación cumplida. Al ir a imprenta GEOACTA, Vol. 6 - N° 2, las láminas se encontraban en impresión en Europa, bajo la responsabilidad de la OMM.

## **ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO DE LA PAMPA DEPRIMIDA DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

JOSE M. RAFFO DEL CAMPO

Instituto de Hidrometeorología, Servicio Meteorológico Nacional

**Se indican en este informe los trabajos que realiza el Servicio Meteorológico Nacional, mediante un convenio con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, con el propósito de efectuar estudios hidrológicos en una extensa zona de la provincia de Buenos Aires, dentro del programa de desarrollo ganadero, denominado Plan Balcarce.**

**Se dan detalles referentes a la implantación de un plan, coordinado con el Servicio de Hidrología de la provincia de Buenos Aires. Este plan contempla la actualización y ampliación de la red de estaciones meteorológicas, hidrométricas, freáticas, y evaporimétricas, y la depuración y actualización de las series de observaciones hidrológicas existentes en el Servicio Meteorológico Nacional.**

**Con la finalización de esas tareas se podrá disponer a corto plazo de un valioso material observacional que permitirá encarar estudios de los regímenes de precipitación y derrame superficial y subterráneo, y las correlaciones entre los mismos, con mayor seguridad.**

**This report points out the tasks being performed by the National Meteorological Service through an agreement with the National Institute of Stockraising and Agriculture Technology to facilitate hydrological studies on an extensive zone of the Province of Buenos Aires. Said studies are included in the livestock development program called Balcarce Plan.**

**Details concerning the plan and the co-ordinated activities with the Hydrology Service of the Province of Buenos Aires are given. The project aims to update and to extend the meteorological, hydrometric, phreatimetric and evaporimetric networks and also to the selection and actualization of the National Meteorological Service hydrological data records.**

**With the completion of these tasks, a very valuable material should be available shortly to tackle reliable studies on rainfall regime, surface and underground spillage as well as the correlation among them.**

La denominada "Pampa Deprimida" de la Provincia de Buenos Aires, de 100.000 km<sup>2</sup>, comprende la parte baja de las cuencas imbríferas de los ríos Salado y Samborombón y la de otros arroyos y canales, situados al sudeste de la cuenca del Salado, que desembocan en el Océano Atlántico. En la Fig. 1, puede apreciarse su ubicación y límites.

Esta extensa región de la Pampa Húmeda de nuestro país, en la que las precipitaciones medias anuales, en promedio, varían entre 600 y algo más de 900 milímetros, y donde la primera capa de agua o freática, en general salitrosa, se encuentra a poca profundidad, sufre periódicamente las consecuencias de importantes sequías e inundaciones que en muchos casos han sido catastróficas.

Las primeras ocurren en forma general, cada ocho años aproximadamente, y son de carácter extraordinario; las segundas, que cada tres o cuatro años afectan algunas subcuencas, han sido generales y abarcan un gran porcentaje de su superficie (80% aproximadamente) cada 18 a 20 años. Ambas anomalías ocasionan perjuicios enormes no solo por su intensidad sino también por su duración.

Por las razones expuestas, por la salinidad de sus aguas superficiales y subterráneas, y como consecuencia de ello, del tipo de pasturas, la explotación de la "Pampa Deprimida" ha sido esencialmente ganadera. Se la ha dedicado a la cría de ganado vacuno y por ello se la conoce como "Zona de Cría de la Provincia de Buenos Aires". En general la cantidad de animales que se tiene es de 1 a 1,5 por Ha.

Con el objeto de solucionar el problema de las inundaciones se creó la "Comisión de Desagües de la Provincia de Buenos Aires" en la cual actuaron —en muchos casos propiciando soluciones antagónicas, que no se detallan por brevedad—, los más destacados ingenieros de fines del siglo pasado y primeras décadas del actual, como Romero, Mercau, Wauters, Posadas, Galmarini, etc. La Dirección de Hidráulica continúa con el estudio del derrame.

Se proyectaron y construyeron una cantidad de canales, algunos de gran sección transversal y longitud, que si bien alivian el problema de las inundaciones no lo solucionan integralmente cuando éstas adquieren características extraordinarias. Al proyectarlos no se dispuso de series de observaciones regulares y se utilizaron, como lo expresa el Ing. Carlos Posadas en sus publicaciones, métodos de cálculo de escurrimiento superficial y algunas mediciones esporádicas, efectuadas en forma precaria.



Para solucionar la falta de datos de alturas hidrométricas y de caudales, la entonces Dirección General de Meteorología, Geofísica e Hidrología, hoy Servicio Meteorológico Nacional, instaló en 1931 la primera estación de aforos del río Salado, en el lugar denominado "Barrancas de San Lorenzo", aguas abajo de la desembocadura de su último afluente de importancia, el arroyo Camarones, donde desde ese año y hasta la fecha se han efectuado observaciones y medido todas las grandes crecientes ocurridas. Además de esta estación de aforos, designada con el nombre de HECTOR C. CASANAS —en homenaje a un técnico del Servicio que pereció aforando la creciente del año 1939— se instalaron en el año 1932 otras escalas hidrométricas en Guerrero, Bonement y Ernestina. Recién en el año 1960 se completó la red con la instalación de estaciones de aforo en los principales afluentes y canales de la cuenca del río Salado.

Con el fin de propender al desarrollo intensivo de esta extensa región, cuyo extremo norte se encuentra a las puertas del Gran Buenos Aires, se firmó un Convenio entre la República Argentina (Consejo Nacional de Desarrollo, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Provincia de Buenos Aires) y el Banco Interamericano de Reconstrucción y Desarrollo (BIRD).

La finalidad del plan, denominado "Plan de Desarrollo Ganadero de la Pampa Deprimida de la Provincia de Buenos Aires" o "Plan Balcarce", según se especifica en el citado Convenio, es la de transformar dicha región, apta solamente para cría y donde, como se dijo, en general solo se tiene 1 a 1,5 animal por Ha., en una pradera útil para cualquier tipo de explotación agropecuaria, donde la cantidad de animales por Ha. pueda triplicarse o aún más.

Para solucionar los problemas que periódicamente castigan a esta zona, en el Convenio se contempla el estudio, en la forma más completa posible, de los factores que caracterizan su clima, su derrame superficial y subterráneo y, además, sus suelos.

En el Instituto de Tecnología Agropecuaria se constituyó una Comisión denominada de Suelos y Drenajes, integrada por técnicos de la Unidad de Reconocimiento de Suelos, representantes del Servicio Meteorológico Nacional y de la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Buenos Aires.

Luego de una serie de conversaciones sobre la realización de estudios climáticos e hidrológicos, el 25 de setiembre de 1969 se firmó un Convenio entre el INTA y el SMN a los efectos de cumplimentar un ambicioso **plan de trabajos** coordinado con el que realiza el Servicio de Hidrología de la Provincia de Buenos Aires. En su primera etapa, este plan contempla la actualización y ampliación de la red de estaciones hidrometeorológicas, hidrométricas y freáticas, y la depuración y actualización de las series de observaciones hidrológicas existentes en el SMN.

En la actualidad se está desarrollando el plan propuesto, tanto en lo que se refiere a la instalación de una red óptima de estaciones como a las tareas de gabinete. En forma muy sucinta, por razones de tiempo, se detalla a continuación el estado de las tareas:

1. La red de estaciones pluviométricas ha sido completada, funcionando regularmente 210 puestos de observación con pluviómetro tipo oficial del SMN, más otras 100 ubicadas en las zonas perimetrales.

Al respecto se estima oportuno hacer notar que, para esa red, corresponde un pluviómetro cada 450 km<sup>2</sup> cuando la "Guía de Prácticas Hidrometeoró-

lógicas" de la Organización Meteorológica Mundial recomienda que en las zonas llanas templadas se instale uno cada 600 km<sup>2</sup>

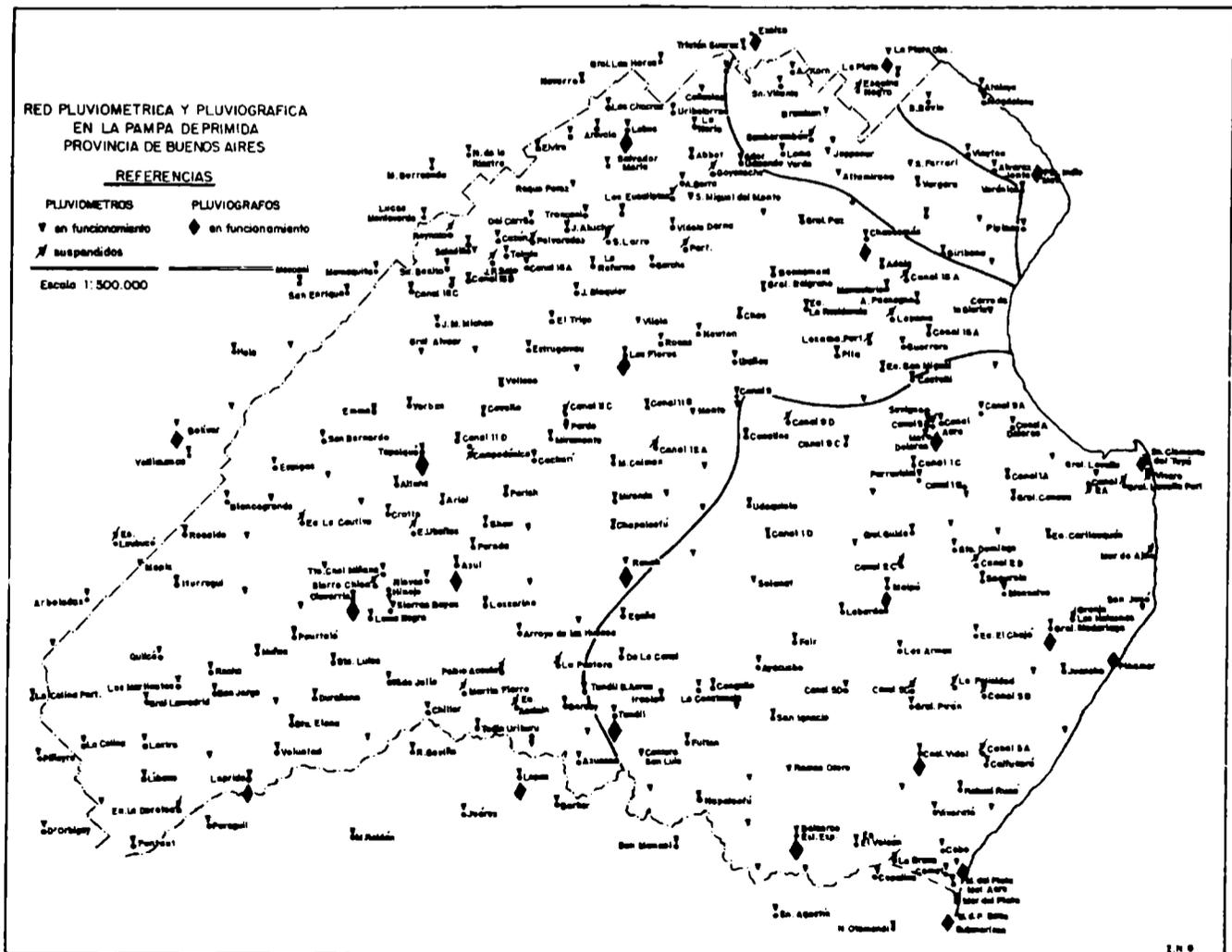
2. La red de estaciones pluviográficas, en base a cuyos datos podrán efectuarse los estudios de intensidad de las precipitaciones, contará con 48 estaciones, de las cuales 17 ya están en funcionamiento y pertenecen a la red del SMN, y las restantes quedarán instaladas próximamente. En la fig. 2 puede apreciarse la distribución de las estaciones pluviométricas y pluviográficas, en la región considerada.

3. La red de estaciones de aforo, cuenta ya con 25 estaciones, una con limnógrafo. Actualmente, se encuentra en campaña la comisión encargada de instalar dos nuevas. (\*)

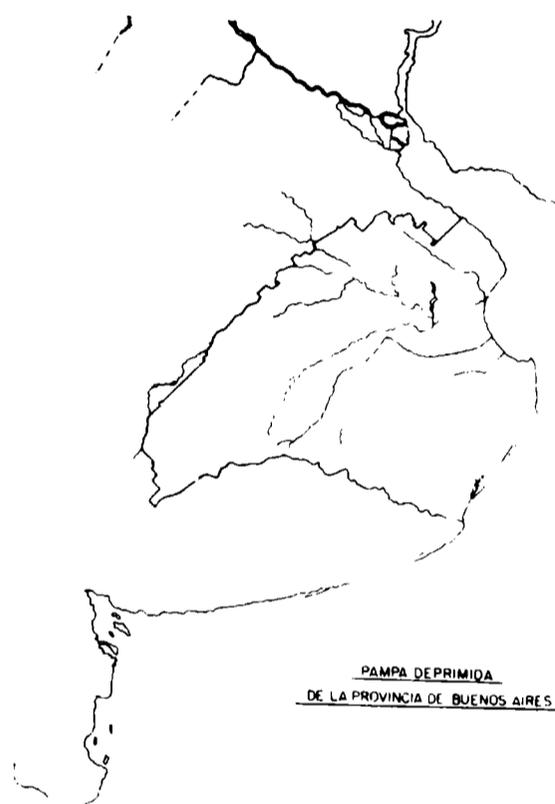
Del total de 27 estaciones de aforo, tres contarán con limnógrafos. Estos aparatos quedarán instalados en los próximos meses. (\*)

En todos los estados hidráulicos que resulten de interés, los aforos serán ejecutados por dos comisiones provistas de movilidad y equipos propios que permanentemente actuarán en la zona, y que pueden trasladarse rápidamente al lugar o lugares indicados por la superioridad.

4. Para el estudio de los regímenes de variaciones de profundidad y caudal de la capa freática, además de las diez estaciones del SMN ya en perfecto funcionamiento, se están instalando 7 nuevos freatígrafos en pozos especialmente perforados. (\*) Además, periódicamente las comisiones efectuarán mediciones en todos los pozos existentes en la zona.



5. La red de estaciones con plantas de evaporación (tanque tipo "A") ya ha sido completada y cuenta con dieciocho estaciones.  
En la fig. 3 puede observarse la ubicación de las estaciones hidrométricas, freáticas y evaporimétricas, representadas con distintos signos.  
Para completar los estudios, en todas las estaciones de aforo y freáticas se tomarán, periódicamente, muestra de agua para su análisis.
6. Con respecto a las tareas de gabinete, corresponde destacar que ya han sido analizados y depurados los datos diarios de lluvia de las estaciones ubicadas dentro de la región en estudio y zonas próximas a su perímetro, en un 70 % del total.



Para dar una idea de la amplitud del trabajo ejecutado, podemos agregar que se han actualizado más de 36.000 planillas mensuales con datos diarios y que se han confeccionado, con su correspondiente trazado de isoyetas, 800 de los 1.100 mapas que se estiman necesarios.

Las fajas de los pluviógrafos, en total 13.161, han sido ya analizadas, y la intensidad de las precipitaciones, totalizadas de 5 en 5 minutos durante las dos primeras horas y de hora en hora posteriormente, hasta la finalización de la tormenta, han sido volcadas a las correspondientes planillas.

Del mismo modo, las estadísticas de las estaciones de alturas hidrométricas, profundidades de la capa freática, y de alturas evaporadas, han sido también actualizadas.

Por último solo falta agregar que los datos serán volcados a tarjetas perforadas y cintas magnéticas para su procesamiento.

A corto plazo se podrá disponer de un inestimable material que permitirá encarar, con mucha mayor seguridad, los estudios de los regímenes de precipitación y derrame superficial y subterráneo, y las correlaciones entre ellos.

(-) Tareas cumplidas al 31-XII-1972.

## INDICE DE AUTORES

	Página
ACHAVAL, E. M. de (LEVI L., . . . y LUBART L.): Discusión de las Condiciones de Crecimiento de Granizos Naturales	37
CEBALLOS, Eduardo A. (PANZARINI, Rofolfo N.): Anteproyecto Argentino de un Buque Oceanográfico	83
CEBALLOS, Eduardo A. (PANZARINI, Rodolfo N. y .): Anteproyecto Argentino de un Buque Hidrográfico	89
CESANELLI, M. (. y LESTA P.): Perfiles Geofísicos Prospectivos Regionales en la Patagonia	77
CICHINI, A. A. (SIMIONATI de FRITZ, N. A. y .): Medición del Flujo de Neutrones A 10,6 Gv	69
HOFFMAN, C. A. (. y PAGANO M. C.): Actividades del Departamento de Electricidad Atmosférica	63
HOFFMAN, José A. J.: Atlas Climático de Sudamérica. Proyecto de la Organización Meteorológica Mundial	93
HORVAT, E. (. y RODRIGUEZ R.): Puntos Trigonométricos de Segundo Orden	17
HORVAT, Esteban: Investigación sobre la Precisión de la Triangulación Fundamental	23
LESTA, P. (CESANELLI M. y .): Perfiles Geofísicos Prospectivos Regionales en la Patagonia	77
LEVI, L. (. ., ACHAVAL E. M. de y LUBART L.): Discusión de las Condiciones de Crecimiento de Granizos Naturales	37
LUBART, L. (LEVI L., ACHAVAL E. M. de y .): Discusión de las Condiciones de Crecimiento de Granizos Naturales	37
MEDINA, L. (RAFFO J. M., QUINTELA R. M., y PLAZZA, L. T.): Análisis de Lluvias Intensas en la Región Pedemontana, cercana a la Ciudad de Mendoza	43
PADULA PINTOS, Víctor H.: La Ionosfera: Técnicas de Observación y Posibilidades en el País	1
PAGANO, M. C. (HOFFMAN C. A., y .): Actividades del Departamento de Electricidad Atmosférica	63
PANZARINI, Rodolfo N. (CEBALLOS Eduardo A., y .): Anteproyecto Argentino de un Buque Oceanográfico	83
PANZARINI, Rodolfo N. (CEBALLOS Eduardo A., y .): Anteproyecto Argentino de un Buque Hidrográfico	89
PLAZZA, L. T. (RAFFO J. M., QUINTELA R. M., MEDINA L., y .): Análisis de Lluvias Intensas en la Región Pedemontana, cercana a la Ciudad de Mendoza	43
RAFFO, J. M. (. ., QUINTELA R. M., MEDINA L. y PLAZZA L. T.): Análisis de Lluvias Intensas en la Región Pedemontana, cercana a la Ciudad de Mendoza	43
RAFFO del CAMPO, José M.: Estudio Hidrometeorológico de la Pampa Deprimida de la Provincia de Buenos Aires	101
RODRIGUEZ, R. (HORVAT E. y .): Puntos Trigonométricos de Segundo Orden	17
SIMIONATI de FRITZ N. A. (. y CICHINI A. A.): Medición del Flujo de Neutrones dA 10,6 Gv	69
QUINTELA, R. M. (RAFFO J. M., , MEDINA L. y PLAZZA L. T.): Análisis de Lluvias Intensas en la Región Pedemontana, cercana a la Ciudad de Mendoza	43

## **CONTENIDO**

### **INFORMES**

**Página**

La Ionosfera: Técnicas de Observación y Posibilidades en el País.  
*VICTOR H. PADULA PINTOS*

1

### **COMUNICACIONES**

Puntos Trigonométricos de Segundo Orden.  
*E. HORVAT y R. RODRIGUEZ*

17

Investigación sobre la Precisión de la Triangulación Fundamental.  
*ESTEBAN HORVAT*

23

Discusión de las Condiciones de Crecimiento de Granizos Naturales.  
*L. LEVI, E. M. de ACHAVAL y L. LUBART*

37

Análisis de Lluvias Intensas en la Región Pedemontana, cercana a la ciudad de Mendoza.

*J. M. RAFFO, R. M. QUINTELA, L. MEDINA y L. T. PLAZZA*

43

Actividades del Departamento de Electricidad Atmosférica.  
*C. A. HOFMANN y M. C. PAGANO*

63

Medición del Flujo de Neutrones A 10,6 Gv  
*N. A. SIMIONATI de FRITZ y A. A. CICCHINI*

69

Perfiles Geofísicos Prospectivos Regionales en la Patagonia.  
*M. CESANELLI y P. LESTA*

77

### **COMUNICACIONES DE ACTIVIDADES**

Anteproyecto Argentino de un Buque Oceanográfico  
*RODOLFO N. PANZARINI y EDUARDO A. CEBALLOS*

83

Anteproyecto Argentino de un Buque Hidrográfico  
*RODOLFO N. PANZARINI y EDUARDO A. CEBALLOS*

89

Atlás Climático de Sudamérica. Proyecto de la Organización Meteorológica Mundial.  
*JOSE A. J. HOFFMAN*

93

Estudio Hidrometeorológico de la Pampa Deprimida de la Provincia de Buenos Aires.

*JOSE M. RAFFO DEL CAMPO*

101