

ESTUDIO DEL INDICE DE REFRACCION ATMOSFERICA
EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Carmen Y. Quinteros de Menzies

Norberto L. Di Lorenzo

Servicio Meteorológico Nacional, Fuerza Aérea Argentina.
Departamento de Meteorología, Facultad de Ciencias Exactas
Buenos Aires, República Argentina

RESUMEN

La magnitud del índice de refracción determina la trayectoria de la energía electromagnética en la atmósfera. Cuando su distribución en la atmósfera se aparta de los valores "standard" acaecen fenómenos de propagación anormal que dan lugar a la aparición de ecos anómalos en las pantallas de los radares.

En este trabajo se estudia la ocurrencia de esos fenómenos en la pantalla de un radar M-33 y se los relaciona con variables meteorológicas tales como temperatura y tensión de vapor. A los efectos de estimar el comportamiento de los valores normales del índice de refracción se ha comenzado a elaborar el Atlas correspondiente para la República Argentina.

ABSTRACT

The magnitude of the refraction index fixes the electromagnetic energy trajectory in the atmosphere. Whenever its distribution is set apart from its "standard" values then abnormal propagation which gives rise to anomalous echoes on the radar displays takes place.

The occurrences of those phenomena on a M-33 radar display and its relationship with meteorological variables such as temperature and vapour tension are here analyzed. In order to achieve an estimation about the normal values behaviour of the refraction index the Atlas which corresponds to the Argentine Republic has been initiated.

INTRODUCCION

Es sabido que las ondas de radio de una frecuencia superior a los 30 Mc no son reflejadas por la ionósfera y el comportamiento de su propagación está dado, en general, por el estado de la baja atmósfera y en particular, por la distribución del índice de refracción. El conocimiento del mecanismo por el cual estas ondas se propagan es importante tanto para el desarrollo de los sistemas de comunicaciones como para el desarrollo de la radiometeorología.

En el diseño de redes de comunicación es necesario saber cual es la intensidad de campo en los lugares donde se emplazarán las estaciones, la distancia máxima o radio-horizonte que se puede alcanzar, las máximas variaciones mensuales de intensidad de campo y la probabilidad de comportamiento anormal de la atmósfera.

En cuanto a la radiometeorología, el apartamiento de las condiciones atmosféricas de sus valores standard produce super o subrefracción que se traduce en la formación de conductos de propagación con aparición de ecos anómalos.

GENERALIDADES

En condiciones normales, debido a la disminución del índice de refracción con la altura el haz de energía electromagnética emitido horizontalmente, se curva hacia abajo con un radio de curvatura que es aproximadamente $1/4$ del radio terrestre. Bajo determinadas condiciones meteorológicas la energía queda confinada en capas finas cerca de la superficie terrestre con el resultado de un anormal aumento de la intensidad de campo a distancias mayores del radio-horizonte. Esto se da por ejemplo en la zona de transición de dos masas distintas de aire en donde se produce un aumento de reflexión de energía. El valor normal de "n" índice de refracción en superficie, es de alrededor de 1,0003. En la práctica por comodidad se define un índice de refractividad "N" derivado del anterior.

$$N = (n - 1) 10^6 \quad (1)$$

con un valor normal del orden de 300 en superficie N_s ; el valor de N está dado por:

$$N = K_1 P/T + K_2 e/T^2 \quad (2)$$

donde P = presión atmosférica en mb

T = temperatura en °K

e = tensión de vapor presente en mb

$$K_1 = 77,6 \text{ °K/mb}$$

$$K_2 = 3,73 \text{ °K/mb}$$

Con el radar M-33 emplazado en el Aeropuerto Internacional de Ezeiza se detectó la ocurrencia de ecos anómalos imposibles de asociar con la presencia de hidrometeoros y se llegó a la conclusión de que debía su origen a propagación de energía en una atmósfera que se apartaba de las condiciones standard. La metodología adecuada para investigar estos fenómenos comienza con el estudio del comportamiento de "N" y la verificación acerca de si superó los valores límites para la ocurrencia de refracción anormal. La trayectoria que sigue el haz de radio en la atmósfera depende del gradiente del índice refractivo en su recorrido y de sus componentes horizontal y vertical. La componente horizontal es muy pequeña frente a la vertical y para los casos prácticos se la desprecia considerándola así horizontalmente homogénea.

Como una aproximación primaria al valor de dn/dh por incrementos finitos ($\Delta N/\Delta H$) se puede aplicar las fórmulas de regresión calculadas en otros países. Puede citarse así como ejemplo la de aplicación en Estados Unidos, para $\Delta H = 1 \text{ Km}$:

$$\Delta N = -7,32 \exp(55,77 N_s 10^{-4}) \quad (4)$$

o la de Alemania:

$$N = -9,3 \exp(45,65 N_s 10^{-4}) \quad (5)$$

ambas con coeficientes de determinación significativos.

Para obtener en cambio el valor de dn/dh con más exactitud en un caso real se puede recurrir a uno de estos dos métodos:

- i) directo: con un instrumento sensible a la propagación electromagnética como el refractómetro.
- ii) indirecto: midiendo las variaciones de P, T, e en la vertical y aplicando la (2).

Si bien el 1° método es preferible al 2° ya que la exactitud es función del error de un solo sensor, es poco viable prácticamente pues se trata de un instrumento complejo y caro. Las mediciones de PTU son en cambio muy comunes y difundidas merced al uso de sondas de probada confiabilidad y se dispone, en general, de toda la infraestructura para recibir la información en tierra. Debe tenerse en cuenta que como normalmente los casos de propagación anómala se producen en capas bajas de la atmósfera, las mediciones raramente deben exceder los primeros 1.000 m sobre el terreno.

Para poder definir y estudiar la ocurrencia de casos anómalos es pues necesario conocer los valores climatológicos de N y la variación de N en el espacio y en el tiempo. Esto nos permitirá también contribuir al estudio de las variaciones de intensidad de campo. Packard y Stetson figuran entre los primeros que notaron la funcionalidad entre este parámetro y el índice refractivo. Para promedios semanales y mensuales de ambas variables se calculó coeficientes de correlación que oscilan entre 0,8 y 0,95. Sobre estos resultados Gray y Norton desarrollaron un método de predicción de pérdida en transmisión en la banda de 1.000 a 50.000 Mc.

TAREAS INVOLUCRADAS EN ESTA INVESTIGACION

Esta investigación comprende a grandes rasgos, cuatro items:

- i) Elaboración de un Atlas del Índice Refractivo en la República Argentina.
- ii) Estudio de la variación de N en la vertical y determinación de la función de mejor ajuste.
- iii) Análisis de casos marcados de ocurrencia de ecos anómalos.

iv) Desarrollo de una técnica para medir la distribución de N en capas bajas en casos de ocurrencia de ecos anómalos.

En rigor la tarea ii) estaría comprendida en el desarrollo del Atlas del Índice Refractivo.

ESTADO ACTUAL DE LAS TAREAS

1) Atlas del Índice Refractivo

Corresponde mencionar que no es la primera vez que se realiza un intento de esta naturaleza. En 1966 Bean, Cahoon, Samson y Thayer por contrato con la ESSA, con 5 años a lo sumo de datos de 306 estaciones elaboraron las cartas climáticas mundiales del índice de radio refractividad. Para la Argentina la muestra consistió en la información de 5 estaciones de radiosondeo; debido a lo exiguo de la muestra y de la baja densidad espacial en el caso del extenso territorio de nuestro país, la definición resulta pobre. Se optó entonces -en este estudio- por ampliar la muestra para obtener cartas más detalladas.

Se calculó los valores mensuales medios del índice refractivo en superficie N_g , aplicando en la (2) los valores normales de la información de las 44 estaciones básicas y 40 auxiliares del SIMN, que se usaron en la confección del Atlas Climatológico de Sud América. En rigor correspondería promediar mensualmente series de valores diarios de N_g , pero según los cálculos de Bean y Sutton el error que se comete aplicando el método aproximado es menor o igual a 1,5, valor muy pequeño comparado con las variaciones estacionales y orográficas.

Con los valores así calculados de N_g para las estaciones argentinas y unas pocas limítrofes, se elaboraron las 12 cartas mensuales. En general los valores de N_g en terreno llano están dentro del rango de 300 a 360 unidades que es el que en promedio corresponde a climas templados en latitudes medias. Los valores inferiores a 300 que se observaron en Cuyo y la región cordillerana norte corresponden climatológicamente a regiones semiáridas y montañosas con pen-

dientes altas, por encima de los 1000 m. De acuerdo con el coeficiente adoptado por el grupo de estudio del Laboratorio Central de Radio Propagación de ESUU, para 0,2 db de cambio en intensidad de señal por unidad de cambio en N, la variación climática correspondiente en terreno llano sería de 6 a 12 db y en terreno montañoso de 0 a 12 db.

ii) Variación de N con la altura

Se han hecho muchos estudios a nivel mundial para determinar la variación de N con la altura y se ha visto que en general aproxima bien con una ley similar a la de la variación de densidad con la altura. Esto daría una expresión del tipo

$$N_z = N_s \exp(-z/H^*) \quad (6)$$

donde z = altura

H^* = factor de escala

Se calculó (6) ajustando por cuadrados mínimos con datos de 12 estaciones de radiosondeos y se llegó a la expresión:

$$N_z = 1,01 N_s \exp(-z/7,891) \quad (7)$$

con un coeficiente de correlación $r = -0,74$.

Se ve así que la variación de N con z es lo suficientemente regular como para permitir una primera aproximación a los valores en altura de N a partir solamente de los datos de superficie y la constante H^* .

En general los valores obtenidos mundialmente para H^* son de alrededor de 7. Con la expresión (7) se puede calcular:

$$N_0 = 1,01 N_s \exp(-h/7,891)$$

donde h = altura de la estación.

Esto nos permite liberarnos de la dependencia de N en superficie con la altura del lugar y poner un mayor énfasis en la diferencia entre masas de aire.

iii) Análisis de casos marcados de ocurrencia de ecos anómalos

Dado que no se dispone de información para calcular la variación de N en la altura y la posible formación de un conducto, se estudió la variación horizontal de N_g en un entorno de la hora de ocurrencia de los ecos. Se muestra como ejemplo el caso del 23-12-74. Ese día se recibieron ecos de terreno de la línea costera Uruguaya, desde Carmelo hasta 180 Km al Este, como se ve en Figura 2 a). En condiciones normales debido a la curvatura terrestre, esos ecos no se habrían recibido. Posteriormente aparecieron líneas cortas fibrosas especialmente hacia el NO, transversales a la dirección del viento conforme se ve en Figura 2 b). En un lapso de 3 horas la variación en superficie fue:

$$\Delta T = 4.4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \Delta e = -16 \text{ mb} \quad \Delta N = -80$$

Este ΔN es el mayor de todos los calculados en este trabajo. Como dato de comparación puede verse en el mapa de diciembre que el rango de N_g en la Argentina en terreno llano es de 300 a 360. Pudo calcularse la variación vertical de N con el radiosondeo de Ezeiza y se encontró en los 600 m correspondientes a una inversión de subsidencia, un $\Delta N = -109/\text{Km}$ superior aun en módulo al valor de $-100/\text{Km}$ calculado por Bean y otros como propicio para la formación de un conducto.

iv) Medición de N en capas bajas

Se han realizado varias pruebas para fijar el sistema operativo óptimo y ajustar el método a las necesidades del caso. Como lugar de medición se seleccionó el Aeropuerto Internacional de Ezeiza que cuenta con personal idóneo para esta tarea y con el sistema receptor de radiosondeo, además de ofrecer la ventaja de ser el asiento del radar meteorológico M-33 de la UBA.

En principio el método de observación es el siguiente: se eleva el globo cautivo portador de un radiosonda adaptado y se recibe simultáneamente la información PTU. A la altura prevista se hace descender el globo y se continúa la recepción de los datos.

CONCLUSIONES

- a) El índice N varía con el clima.
- b) La variación normal en la República Argentina de intensidad de señal de campo electromagnético es del orden de 0 a 12 en la región Cuyana y el NO y de 6 a 12 en el resto del país.
- c) Se confirma que la variación de N con z es lo suficiente regular como para permitir aproximar a los valores de N_z a partir de N_g y del conocimiento del factor escala.
- d) Los casos de ocurrencias de ecos anómalos se produjeron con mar cadas variaciones de temperatura y tensión de vapor.

BIBLIOGRAFIA

- Battan, L.J.: Radar Meteorology, Chicago, The University of Chicago Press, 1974.
- Bean, B.R.; Cahoon, B.A.; Samson, C.A. y Thayer, G.D.: A World Atlas of Atmospheric Radio Refractivity, U.S.A. Department of Commerce, Environmental Science Services Administration, 1966.
- Bean, B.R. y Dutton, E.J.: Radio Meteorology, New York, Dover Publications Inc., 1968.
- Kerr, D.E., 1951: Propagation of short radio waves, New York, Mc Graw Hill.

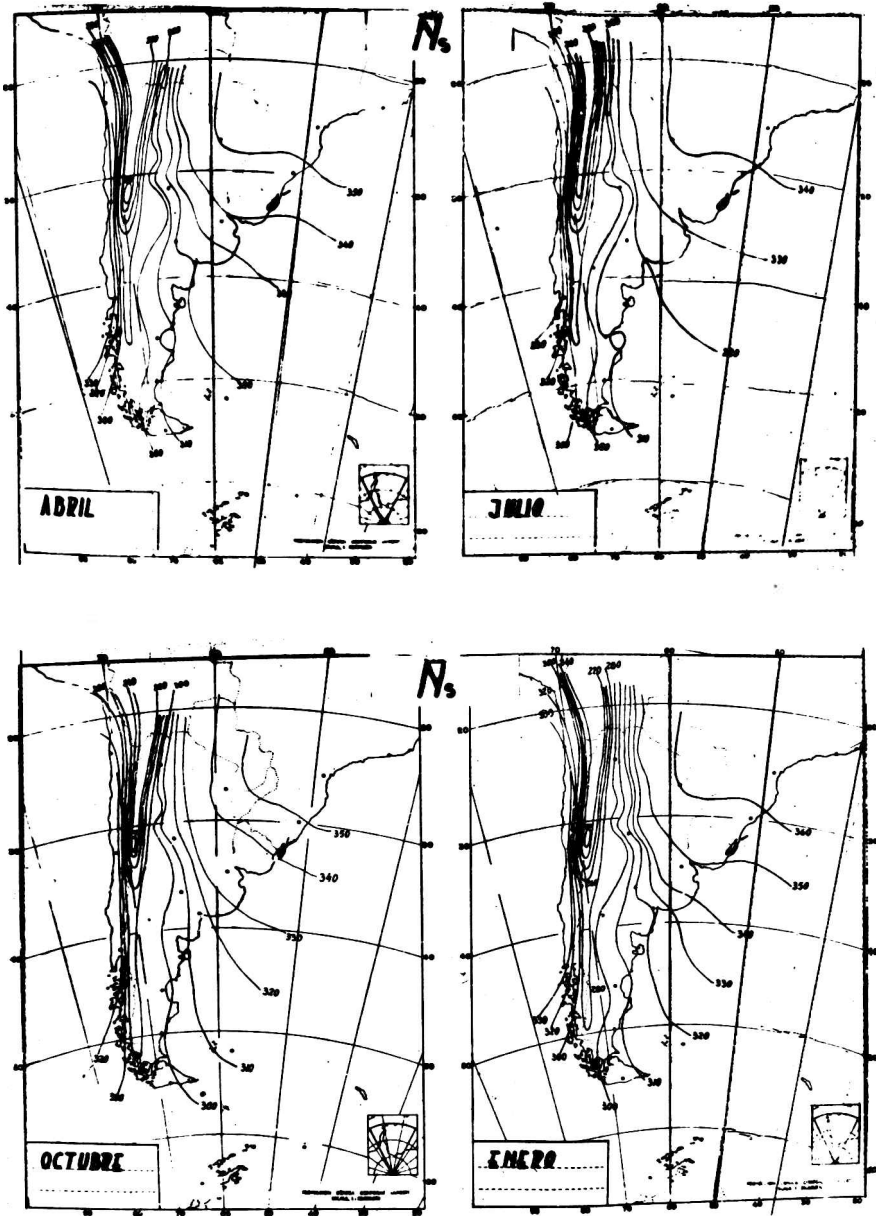


Figura 1

