

EVALUACION DE LOS METODOS DE PREDICCION DE LA INTENSIDAD DE CAMPO
EN H.F. DEL COMITE CONSULTIVO INTERNACIONAL DE RADIO (C.C.I.R.)

Marcelo Pérès y Liliana Finkelberg
Laboratorio Ionosférico de la Armada
Vicente López - República Argentina

RESUMEN

Los métodos de predicción de la intensidad de campo de las ondas de espacio decamétricas del C.C.I.R., son evaluados utilizando valores medidos que han sido depositados en el Banco de Datos de ese Organismo.

Los resultados obtenidos para el primer método del Informe 252-2 del C.C.I.R. muestran una sobrestimación de la intensidad de campo durante el invierno. La misma se debe, probablemente, a un inadecuado tratamiento de la anomalía invernal de la absorción ionosférica por parte de método.

Cuando en el primer método se reemplaza el cálculo de absorción por el que propone el segundo, contenido en el Suplemento del Informe 252-2, disminuye la dispersión de los resultados; pero la intensidad de campo resulta apreciablemente sobrestimada por la predicción para casi todos los circuitos y frecuencias. Una de las razones de la sobrestimación se hace evidente al comparar la variación diurna de los valores de predicción con la de los observados: la primera es generalmente menos profunda que la segunda. Por otro lado los resultados no muestran diferencias estacionales por lo que la anomalía invernal de la absorción parece mejor tratada por el segundo método que por el primero.

ABSTRACT

The C.C.I.R. prediction methods for estimating the sky-wave field strength of the H.F. band are evaluated using observed field strengths contained in the C.C.I.R. Data Bank.

The first method (C.C.I.R. Report 252-2) overestimates field strengths in winter. The overestimation is probably due to an inadequate treatment of the winter anomaly of ionospheric absorption.

The absorption calculation of the first method is replaced by the procedure of the second method (Supplement to Report 252-2). Results are less scattered but a remarkable and general tendency to overestimate field strength is observed for almost all circuits and frequencies. One reason of such a tendency is evident when the diurnal variation of the predicted values is compared with the observed values: the former is less deep than the latter one. On the other hand the mentioned tendency is present in winter as well as in summer; therefore the second method, seems to allow better for the absorption winter anomaly.

INTRODUCCION

El Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR) cuenta actualmente con dos métodos de predicción de intensidad de campo en la banda de HF. El primero, aprobado en Nueva Delhi (1970), está contenido en el Informe 252-2 y sus fundamentos descansan, principalmente, en métodos desarrollados en los Estados Unidos. El segundo, cuyas bases técnicas están contenidas en el Suplemento al Informe 252-2, se origina en métodos del Reino Unido. El Suplemento fue aprobado en Kyoto (1978) cuando aún no existía un programa de computadora que hiciera operativo al método. En lo sucesivo utilizaremos la forma abreviada 252 y Sup. 252 para referirnos al primero y segundo método respectivamente.

El Grupo Interino de Trabajo 6/1 del CCIR tiene como cometido la evaluación de ambos métodos, así como su simplificación y mejoramiento. Para ello se cuenta con una Base de Datos de intensidades de campo medidas, de las cuales se acordó utilizar un subconjunto que cubriera una adecuada variedad de condiciones geográficas, estacionales, etc.. El método 252 fue evaluado en el seno de GIT 6/1 que produjo diversos documentos con los resultados. Una síntesis de éstos se encuentra en el Informe 571 del CCIR y otra, un poco más amplia, se incluye en el presente trabajo. El método Sup. 252 no ha sido completamente evaluado por que aún no se cuenta con un programa de computadora de aceptada confiabilidad. Este programa es de compleja implementación y una vez en estado operativo se espera que los cálculos requieran excesivo tiempo de máquina para la mayoría de los casos prácticos. Por eso hemos preferido ensayar un compromiso entre ambos métodos: manteniendo la estructura del método 252 ya implementado, se reemplazan diversos procedimientos del mismo por los correspondientes del Sup. 252. Luego se evalúan las mejoras observadas en las predicciones en relación con el costo adicional en espacio y tiempo de computadora. En una primera etapa se ha reemplazado el cálculo de absorción del primer método por el del segundo. A esta nueva versión del método 252 la designamos abreviadamente 252₁.

CARACTERISTICAS DE LOS METODOS

Todo método de predicción de la intensidad de campo propagada en un determinado medio, a larga distancia, exige el cálculo de las diferentes pérdidas que pueden afectar al campo. En la propagación de ondas de la banda de HF (siempre nos referimos a la onda espacial, no a la onda de tierra) la principal pérdida es la atenuación espacial.

La segunda pérdida en importancia suele ser la absorción de energía que sufre la onda en el medio. El método 252 utiliza una fórmula teórico-empírica (Lucas y Haydon, 1960) para el cálculo de absorción:

$$L = \frac{677.2 (1 + 0.0037 R_{12}) \sec i}{(f + f_H)^{1.98} + 10.2} \cos^{1.3} (0.881X) \quad (1)$$

donde L es la absorción en dB para cada salto, i = ángulo de incidencia a 100 Km, f = frecuencia de operación (Mhz), f_H = girofrecuencia a 100 Km (Mhz), R_{12} = mediana móvil para 12 meses del número de manchas solares, X = ángulo cenital solar.

El segundo método usa la fórmula (CCIR, Suplemento al Informe 252-2,1980):

$$L = \frac{\psi_n A_T (1 + 0.0067 R_{12}) \sec i}{(f + f_1)^2} \cos^p (0.881X) \quad (2)$$

donde algunos símbolos ya han sido definidos, f_1 = girofrecuencia logitudinal (Mhz), ψ_n es una función del cociente entre la frecuencia vertical equivalente y la frecuencia crítica de la capa E (Figura 2), A_T es el factor de absorción y p el exponente de absorción diurna.

Comparando (1) y (2) se observa que ambos métodos utilizan similares variaciones con la frecuencia y con el ángulo de incidencia. La dependencia en frecuencia incluye en el caso (1) la girofrecuencia completa mientras que (2) incluye sólo la componente longitudinal. Lo último sería más correcto desde el punto de vista teórico pero no se consideran variaciones de la f_1 con el ángulo de incidencia, se toma el valor que corresponde a incidencia vertical. El término que se suma al de las frecuencias en el denominador de (1) tiene cierta justificación teórica si la cantidad representara el cuadrado de la frecuencia de colisión promedio en la zona donde se produce la absorción. Sin embargo el número (10.2) fue obtenido empíricamente para ajustar mejor los resultados de las predicciones a frecuencias bajas (vMhz). La variación diurna es también similar pero mientras para el 252 el exponente es fijo, el Sup 252 considera un exponente variable con la latitud magnética modificada y el mes del año (Figura 3). A partir de ciertas hipótesis simplificadoras, Appleton dedujo una expresión teórica para la absorción ionosférica (Ratcliffe, 1959) que es formalmente semejante a las (1) y (2) pero donde el factor coseno está afectado por el exponente 1.5. Mediciones de absorción en incidencia vertical confirmaron razonablemente la dependencia con el coseno del ángulo cenital solar pero con exponentes sensiblemente menores.

La absorción ionosférica varía según la composición neutra de la región ionosférica relevante (densidades absolutas y relativas de las especies neutras entre 70 y 100 Km). También dependerá de los perfiles de presión y temperatura. Las tres variables, temperatura, densidad total y presión están relacionadas, naturalmente, por una ecuación de estado y las dos últimas por la ecuación barométrica.

Lograr expresar la absorción en función de estas variables fundamentales es utópico; pero mediante desarrollos teóricos y aproximaciones realistas puede llegarse a expresarla en función de la concentración electrónica y la frecuencia de colisión entre electrones y neutros, variables que dependen más o menos complejamente, de las fundamentales. Es sabido que las variables fundamentales mencionadas tienen variaciones latitudinales y estacionales (CIRA, 1972) por lo cual también deben esperarse ese tipo de variaciones en la absorción ionosférica. Evidentemente la fórmula (1) no considera esas variaciones mientras que la (2) lo hace a través del factor de absorción A_T . La morfología global del factor ha sido calculada en función de la latitud magnética modificada y de los meses del año (similar a la Figura 3). El origen, concepto y uso del factor A_T y de la función ψ_n es discutido en George (1971), Samuel y Bradley (1975). De la comparación de (1) y (2) pareciera que la variación con la actividad solar de ambos métodos es diferente; sin embargo debe tenerse en cuenta que el 252 incluye una fórmula obtenida empíricamente, para la variación de la absorción L mientras que la fórmula del Sup 252 representa la variación del factor A_T con la actividad solar. La función ψ_n (Figura 2) tiene en cuenta la absorción desviativa que se produce cuando la frecuencia de operación es cercana a la frecuencia de penetración de la capa E: según George (1971) esta función resulta independiente del lugar geográfico, del mes y de la época solar. En síntesis, las principales diferencias del cálculo de absorción ionosférica de ambos métodos son: a) El Sup 252 tiene en consideración la existencia de ionosferas diferentes a través de la variación estacional y geográfica del factor A_T . El 252 no considera las variaciones. b) El Sup 252 incluye el cálculo de absorción desviativa, el 252 no.

También existen diferencias en el tratamiento de los otros factores de pérdida como absorción auroral, reflexiones en el suelo, etc.; estas diferencias no son de interés en este trabajo porque para el 252₁ se mantienen los mismos procedimientos que para el 252.

CALCULOS Y RESULTADOS GENERALES

Se consideraron quince circuitos, cuatro meses (enero, abril, julio y octubre) y las horas impares. Se consideró la opción de propagación vía E-esporádica que permite el método 252. El ángulo de elevación mínimo adoptado fue cero. Se eligió el modo de pérdida mínima. El cálculo de absorción se hace utilizando características ionosféricas evaluadas en los puntos 1, 2 y 3 de la Figura 1. El promedio de los tres valores de absorción es luego multiplicado por el número de saltos del modo. La absorción nocturna es evaluada usando la fórmula de Wakai (Suplemento al Informe 252-2).

Para cada una de las versiones (252 y 252₁) se determinaron las diferencias Δ = intensidad de campo predicha - intensidad de campo medida, en todos aquellos

casos en que la máxima frecuencia utilizable (MUF) predicha resultara mayor que la frecuencia de operación (probabilidad de disponibilidad de modo mayor del 50%). En la Tabla 1 aparecen las medianas y dispersiones (desviación cuadrática media) para cada frecuencia de cada uno de los 15 circuitos. Una mediana positiva implica una sobrestimación de la intensidad de campo predicha. Una alta dispersión es indicio de imprecisión en la predicción aún cuando la mediana sea cero. A partir de la Tabla 1 resulta difícil estimar globalmente cada una de las dos versiones para compararlas. En la Figura 4 se han volcado todos los valores de Δ evaluados para todos los circuitos, frecuencias, estaciones y horas. Allí se ve que la versión original (252) tiene una leve tendencia a sobrestimar la intensidad de campo; y que esa tendencia es agravada con la inclusión del nuevo procedimiento para el cálculo de absorción (252₁). Esto implicaría que dicho procedimiento tiende a subestimar la absorción. Esto se analiza más detalladamente en una sección posterior. Por otro lado se observa que la dispersión disminuye al aplicar el nuevo procedimiento.

ANÁLISIS ESTACIONAL

Una discrepancia sistemática, en la precisión del método original (252), es evidente entre invierno y verano. La discrepancia puede resumirse comparando histogramas que agrupen todas las diferencias Δ para invierno y verano separadamente (Figura 5); ésto es Enero y Julio respectivamente ya que todos los trayectos caen casi íntegramente, en el hemisferio norte. De la Figura 5 resulta claro que el método 252 sobrestima fuertemente la intensidad de campo en invierno. Esta sobrestimación se debe seguramente a un tratamiento inadecuado de la anomalía invernal de la absorción. En efecto: se calculan las diferencias de segundo orden

$$\Delta^2 = \bar{\Delta}_W - \bar{\Delta}_S, \quad (3)$$

donde el promedio de las diferencias Δ para el mes de Enero es $\bar{\Delta}_W$ y para el mes de Julio $\bar{\Delta}_S$ (ninguno de los tres circuitos que tienen una cabecera a baja latitud del Hemisferio Sur pasa por la zona anómala de este hemisferio). La Tabla 2 muestra los valores de Δ^2 para todas las frecuencias; cuando para determinar $\bar{\Delta}_W$ ó $\bar{\Delta}_S$ existían menos de 3 valores, los casos han sido excluidos; casos basados en menos de 5 valores aparecen con un asterisco. La Tabla 2 también muestra promedios de los Δ^2 para los grupos de frecuencias indicados; los primeros tres grupos muestran una evidente dependencia con la frecuencia. (El apartamiento del último grupo es, probablemente, no significativo debido a que los Δ^2 están calculados a partir de muestras pobres). La dependencia en frecuencia indica que la discrepancia invierno-verano es debida al cálculo de la absorción. Por otro lado, la anomalía invernal sólo puede ser considerada, en el método, a través de

las Pérdidas en Exceso del Sistema contenidas en las Tablas 2 y 3 del Informe 252-2. Un examen de estas Tablas indica que las Pérdidas no dependen de la frecuencia y que la dependencia estacional es insuficiente para tener en cuenta la anomalía a frecuencias bajas o medias del rango de HF.

La versión 252₁, en cambio, no presenta discrepancias entre invierno y verano (Figura 5).

ANALISIS DIURNO

La variación diurna, tanto de las intensidades de campo medidas como de las predichas (según la versión 252₁), ha sido estudiada para circuitos relativamente cortos (< 2.500 Km). Los modos efectivos para esos circuitos suelen ser un salto con reflexión en capa F durante la noche y un salto con reflexión en capa E ó F durante el día. La sencillez del tipo de propagación hace que la variación diurna (respecto de la hora local en punto medio) sea bastante regular.

Como representativos del tipo de variación diurna que se observa en los circuitos estudiados (los cuatro primeros de la Tabla 1), se muestran en la Figura 6 dos ejemplos. Para el caso Shannon-Luchow se observa que la variación del campo medido (puntos) es más 'profunda' que la de los campos predichos (X). Considerando los valores nocturnos se observa que cuando la frecuencia de operación es cercana o superior a la MUF, el campo medido cae (las MUF predichas para esos casos aparecen sobre el eje horario de los gráficos). Teóricamente la caída debería producirse sólo al superarse la MUF (estos casos no fueron utilizados en el análisis estadístico de los Δ como ya se ha dicho); como la caída ocurre también cuando la MUF es ligeramente superior a la frecuencia de trabajo, puede pensarse en un cierto error sistemático por exceso en la predicción de la MUF para los circuitos cortos. Fuera de esos casos, los demás valores nocturnos del campo medidos y predichos son generalmente similares. Esto indica que el cálculo del trayecto (necesario para predecir la atenuación espacial) es razonablemente correcto. Entonces puede suponerse que el cálculo del trayecto resulta también correcto para los valores de predicción diurnos, cuando la reflexión ocurre a alturas inferiores de la Región F o en la Región E para frecuencias bajas. Con esta aceptable hipótesis, la discrepancia que se observa en la excursión diurna puede atribuirse principalmente al cálculo de absorción (2). En la Fig. 7 se muestran las variaciones diurnas predichas y observadas para distintas frecuencias de operación de un mismo circuito; la discrepancia entre la predicción y la observación disminuye al aumentar la frecuencia lo cual constituye indicación suplementaria de que el cálculo de absorción es el responsable de dicha discrepancia. Obsérvese que para el circuito Tokio-Akita (Fig. 6), con un exponente p y una actividad solar bastante diferente que para los otros circuitos, el ajuste de la predicción es mucho mejor.

Concluyendo, la disminución en la dispersión de los resultados que arroja el procedimiento para el cálculo de absorción del Suplemento al Informe 252-2 confirma que dicho procedimiento tiene en cuenta las variabilidades estacionales y geográficas, así como la absorción desviativa, más adecuadamente que el método original del Informe 252. Sin embargo la inclusión del nuevo procedimiento produce una sobrestimación de la intensidad de campo casi sistemática. Examinando en detalle la variación diurna de los campos de predicción y los observados, para circuitos cortos, se observa una discrepancia que es responsable, por lo menos en parte, de la sobrestimación mencionada; tratándose de circuitos cortos la variación diurna puede interpretarse en términos de absorción, por lo cual puede decirse que el nuevo procedimiento subestima la absorción. Por otro lado el método original del Informe 252 produce errores significativos por no tener en cuenta la anomalía invernal.

Agradecimientos: Los autores desean destacar la valiosa ayuda recibida de L. Puig y de M.A. Garbini para realizar este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- C.C.I.R., 1970: Informe 252-2. Método provisional del C.C.I.R. para evaluar la intensidad de campo y la pérdida de transmisión de la onda ionosférica de frecuencias comprendidas entre los límites aproximados de 2 y 30 Mhz; U.I.T., Ginebra.
- C.C.I.R., 1980: Suplemento al Informe 252-2. Segundo método provisional del C.C.I.R. para evaluar por computador la intensidad de campo y la pérdida de transmisión de la onda ionosférica en las frecuencias comprendidas entre 2 y 30 Mhz; U.I.T., Ginebra.
- C.C.I.R., 1980: Informe 571-1. Comparación entre los valores medidos y la predicción de intensidad de campo y de pérdida de transmisión de la onda ionosférica en frecuencias comprendidas entre 2 y 30 Mhz; U.I.T., Ginebra.
- C.I.R.A., 1972: C.O.S.P.A.R. International Reference Atmosphere; Akademie Verlag, Berlín.
- George P.L., 1971: The global morphology of the quantity $f N v. dh$ in the D- and E- regions of the ionosphere; J. Atmos. Terr. Phys., 33, 189.
- Samuel J.C., Bradley P.A., 1975: A new form of representation of the diurnal and solar-cycle variations of ionospheric absorption; J. Atmos. Terr. Phys., 37, 131.

Circuito	Frecuencia (Mhz)	252		252 ₁	
		Mediana	Disp.	Mediana	Disp.
1.-Tokio-Akita	5.0	5	5.6	6	4.8
	2.5	0	13.1	3	5.5
2.-Bracknell-Luchow	9.2	3	10.3	3	8.7
	4.8	2	11.9	4	9.2
	2.6	0	3.9	- 1	6.8
3.-Shannon-Luchow	5.5	2	8.3	6.5	8.6
4.-Moscu-Luchow	15.9	8	14.7	9	11
	7.7	0.5	12.8	3	10.5
	5.4	0.5	4.7	6.5	11.7
	3.9	7	13.9	16	13.9
5.-Halifax-Luchow	12.8	10	16.6	12.5	9.6
	8.5	15	18.4	15.5	10.9
	6.4	14	15.3	13	11.1
6.-Kauai-Hiraiso	15.0	0	8.1	6	6.6
7.-Nueva York-Luchow	20.9	11	24	13	16.7
	16.2	4	18.3	6	15.4
	13.6	4	12.2	2.5	10.9
8.-Maui-Hiraiso	15.0	- 2	5.3	0	4.3
9.-Brazzaville-Luchow	22.0	- 4	5.7	- 2	5.8
10.-Nairobi-Luchow	17.4	1	11.3	4	10.7
	9.0	- 7	13.3	- 6	8.3
11.-Tokio-Luchow	13.6	2.5	12.4	5	11.3
	10.0	10	15.0	10	14.2
12.-Fort Collins-Hiraiso	15.0	- 2	4.3	3	1.5
13.-Mauritius-Luchow	22.6	8	15.6	11.5	9.6
	13.0	- 2	14.7	5.5	9.6
	8.6	- 3	13.4	3.5	12.9
14.-Washington-Hiraiso	15.0	11.5	17	13	8.7
15.-Honolulu-Luchow	13.9	31	31.1	32	9.7

Tabla 1: Medianas y dispersiones de las diferencias entre las intensidades de campo predichas y medidas; decibeles.

Grupos de Frecuencias (MHz)	Frecuencia MHz	Número de Circuito	$\Delta^2 = \bar{\Delta}_W - \bar{\Delta}_S$	$\bar{\Delta}^2$
< 5	2.5	1	9.8	13.1
	3.9	4	14.9	
	4.8	2	19.1	
	5.0	1	8.7	
5 < < 10	5.5	3	12.5	8.7
	6.4	5	3.7	
	7.7	4	20.6	
	8.5	5	17.2	
	8.6	13	8.1	
	9.0	10	5.2	
	9.2	2	- 8.4*	
10.0	11	11.1		
10 < < 15	12.8	5	- 0.7*	0.1
	13.0	13	- 1.9	
	13.6	7	4.8*	
	15.0	6	- 3.6	
	15.0	8	1.9	
15 <	15.9	4	18.3*	10.2
	16.2	7	6.1*	
	17.4	10	15.3	
	22.0	9	1.3*	

Tabla 2: Exceso en las predicciones de intensidad de campo para el invierno relativas a las predicciones de verano, decibeles.

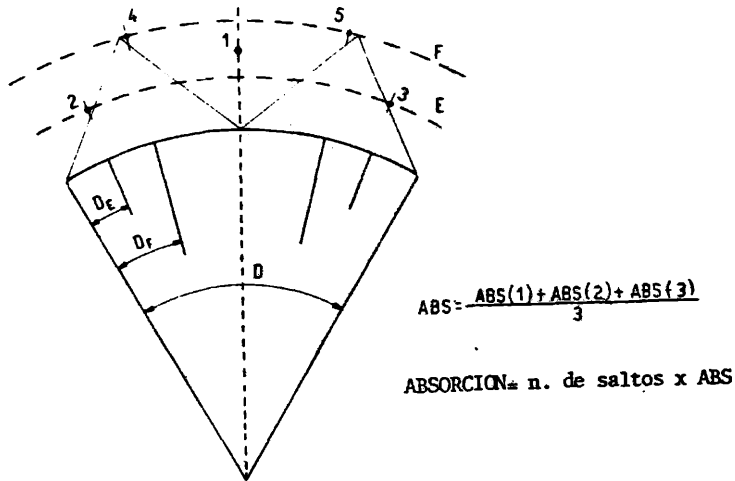


FIGURA 1: Subdivisión del trayecto para el cálculo de las características ionosféricas.

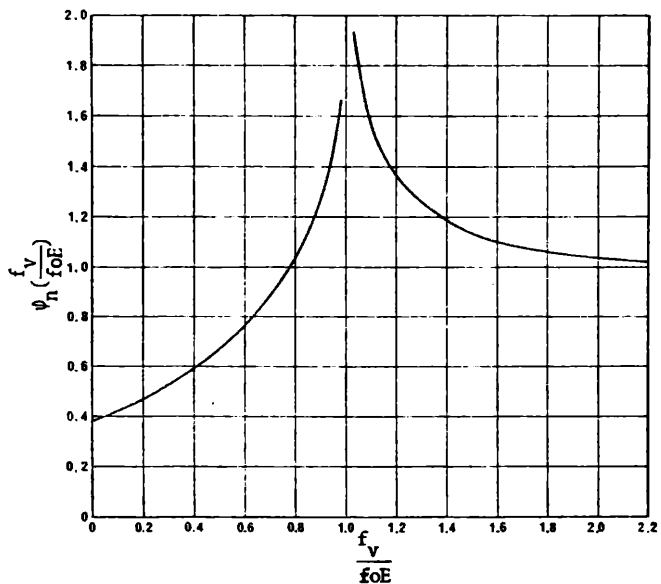


FIGURA 2: La función de absorción ψ_n ; f_v : frecuencia vertical equivalente, foE : frecuencia crítica de la capa E.

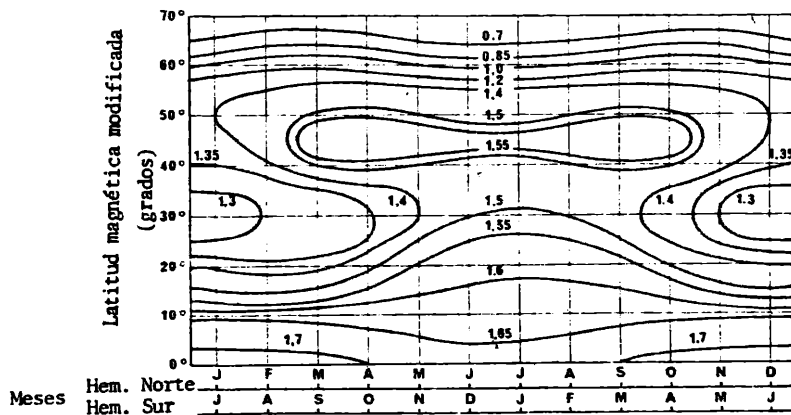


FIGURA 3: El exponente de absorción diurna p .

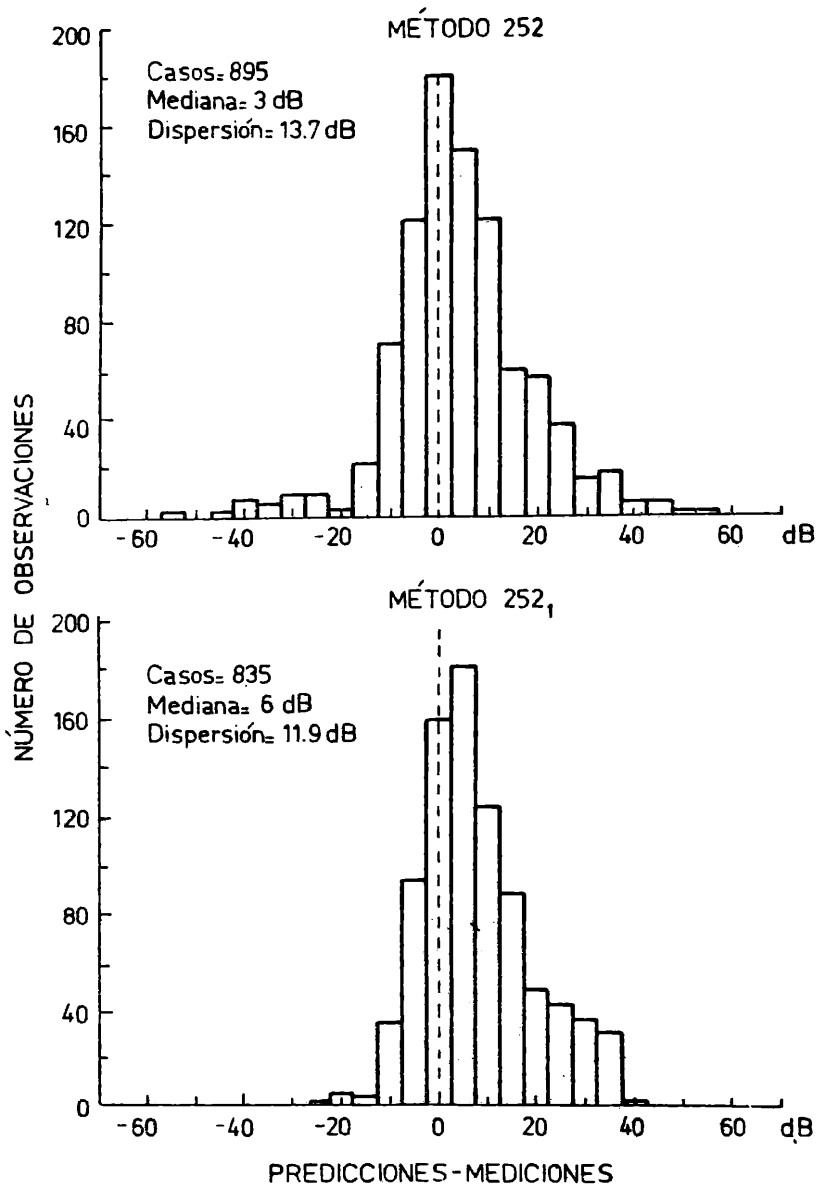


FIGURA 4: Histogramas de diferencias entre las intensidades de campo de predicción y las observadas, para todos los circuitos, frecuencias y horas.

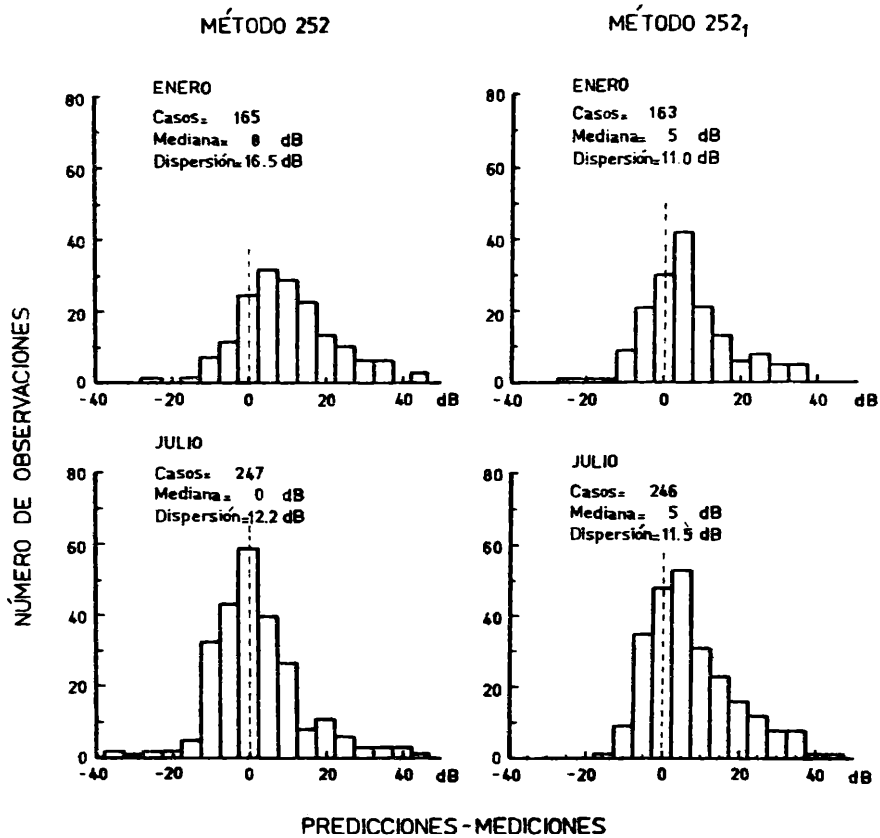


FIGURA 5: Histogramas de diferencias para invierno y verano (Enero y Julio). Se observa asimetría estacional en los resultados del método 252, pero no en su versión 252₁.

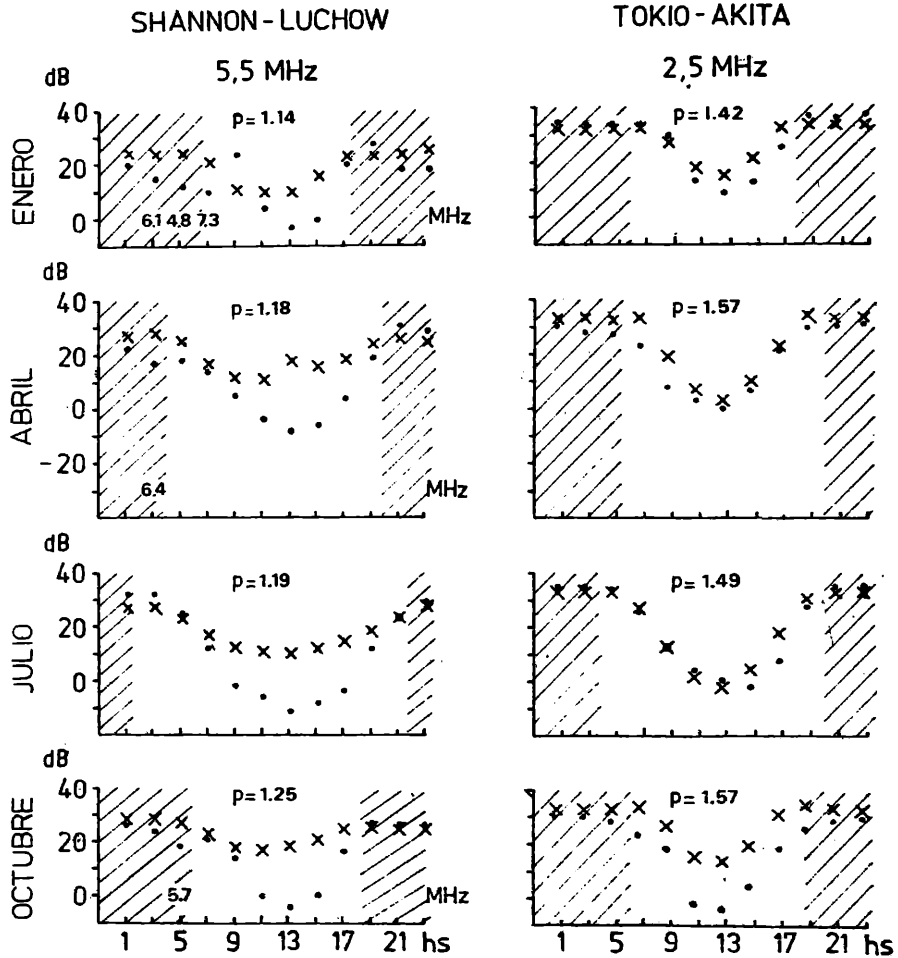


FIGURA 6: Variaciones diurnas de las intensidades de campo para dos circuitos: a) de predicción según la versión 252₁ (x); b) observadas (·). Los p son los exponentes que afectan al cos χ en la ecuación (2). Los números sobre las abscisas indican las MJF predichas para algunas horas (ver texto).

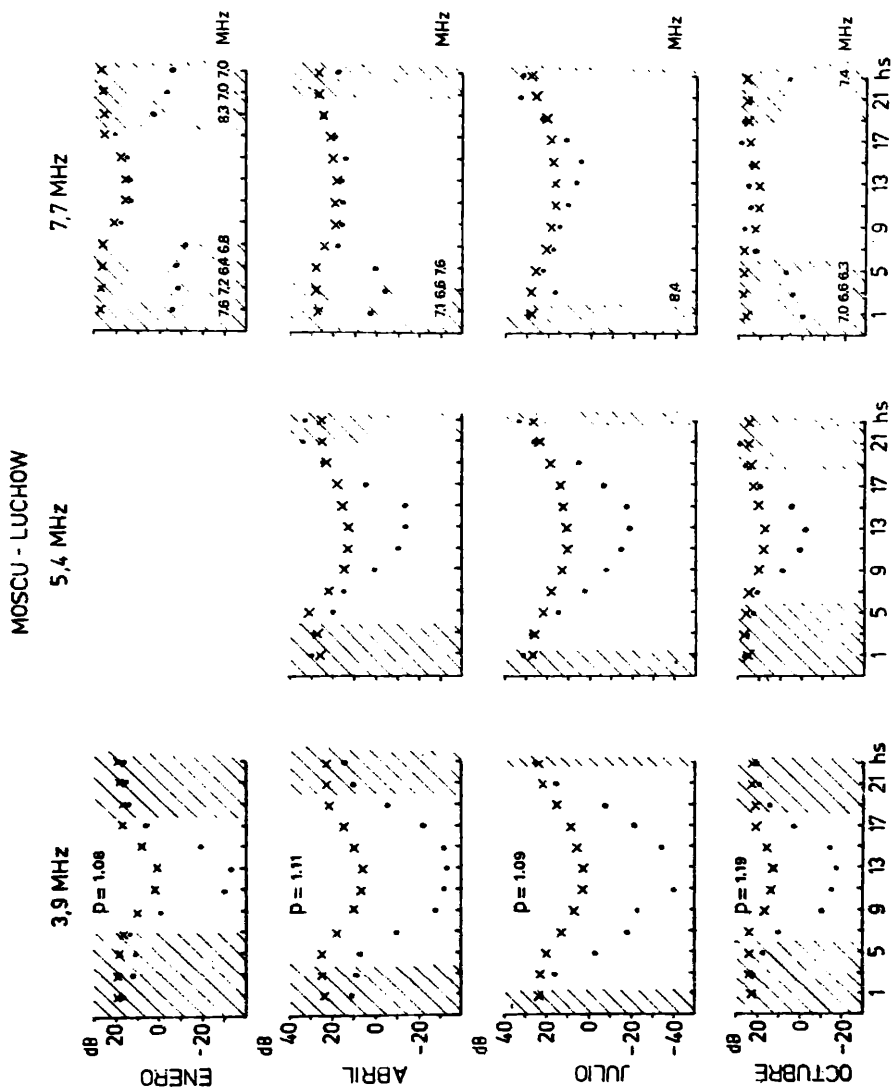


FIGURA 7: Idem FIGURA 6 para las diferentes frecuencias de otro circuito. El exponente p es (para cada mes) igual para todas las frecuencias.