

PROPAGACIÓN IONOSFÉRICA EN LA BANDA DE ONDAS MÉTRICAS

(Cuestión 41/6)

(1951-1953-1956-1959-1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990)

1. Introducción

La ionosfera, a la que se debe en primer lugar la reflexión de las ondas radioeléctricas por debajo de 30 MHz, puede también producir reflexiones en la banda de ondas métricas (30 a 300 MHz) durante periodos de tiempo relativamente cortos, y en determinadas zonas del mundo solamente, según el mecanismo de propagación y la estructura ionosférica local.

El presente Informe expone las condiciones en las que las Regiones E y F producen esas reflexiones, subdivididas en normales y anormales, entendiéndose que la propagación normal puede preverse en función de una amplia gama de parámetros geofísicos o solares de alto grado de predictibilidad diaria, mientras que en la anormal esta predictibilidad es baja, y sólo las estadísticas a largo plazo permiten una cierta evaluación de su comportamiento.

Hay que señalar que también pueden cubrirse distancias superiores a 1.000 km debido a los efectos de propagación troposférica anómala a través de medios no ionizados. Si fuera necesario, o conveniente, identificar el modo de una señal interferente, véase el § 4, donde aparecen tabuladas las características principales.

2. Región F

La Región F presenta los dos casos, la propagación normal y anormal, que se describen en este punto.

* Este Informe debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 5, 8 y 10.

2.1 Propagación normal por la Región F

Cerca de los máximos del ciclo de actividad solar y en latitudes medias, las transmisiones a larga distancia por la capa F2 son posibles durante un porcentaje de tiempo apreciable en frecuencias que llegan a los 50 MHz o más. En latitudes bajas, esta transmisión se realiza corrientemente entre 30 y 40 MHz, pero también puede tener lugar en 60 MHz y por encima. La frecuencia más baja en que las interferencias causadas por esta propagación son tan raras que pueden considerarse despreciables, es de unos 60 MHz para las estaciones situadas en latitudes medias y de unos 70 MHz para las estaciones situadas en latitudes bajas (véanse las figs. 1, 2 y 3).

En la India se ha publicado un informe sobre la propagación normal de señales de televisión en ondas métricas [Saksena, 1979]. También se ha observado en Rohtak, India, la propagación de señales de televisión en ondas métricas de 60 MHz aproximadamente, a lo largo de un trayecto de 3100 km desde Bangkok, sobre todo en los meses equinocciales y en un periodo de gran actividad solar, debida a la propagación por la capa F ionosférica en frecuencias superiores a la MUF básica. Esta recepción de señales se observó centrada a las 2000 hora local, con duraciones comprendidas entre una hora y dos horas y media [CCIR, 1982-86].

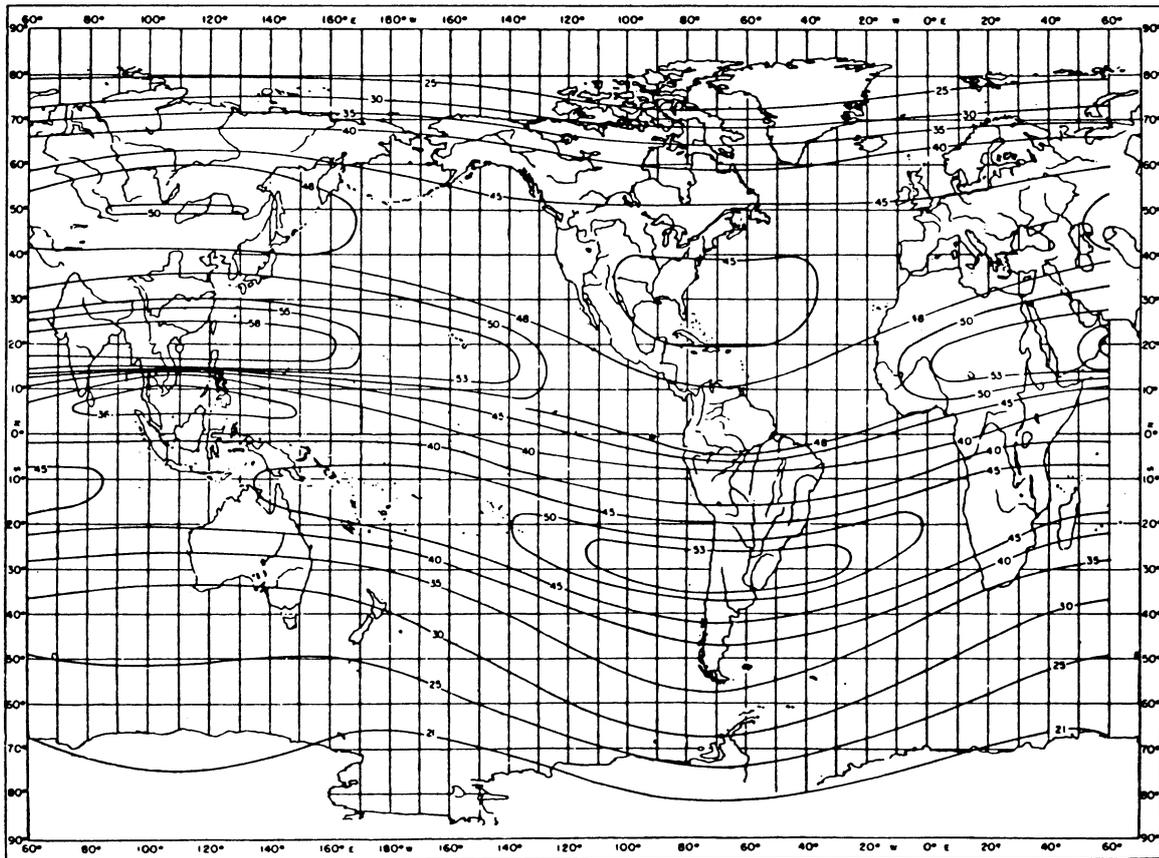


FIGURA 1 - F2 (4000) MUF excedida durante el 1% de las horas - Solsticio de diciembre; máximo de actividad solar

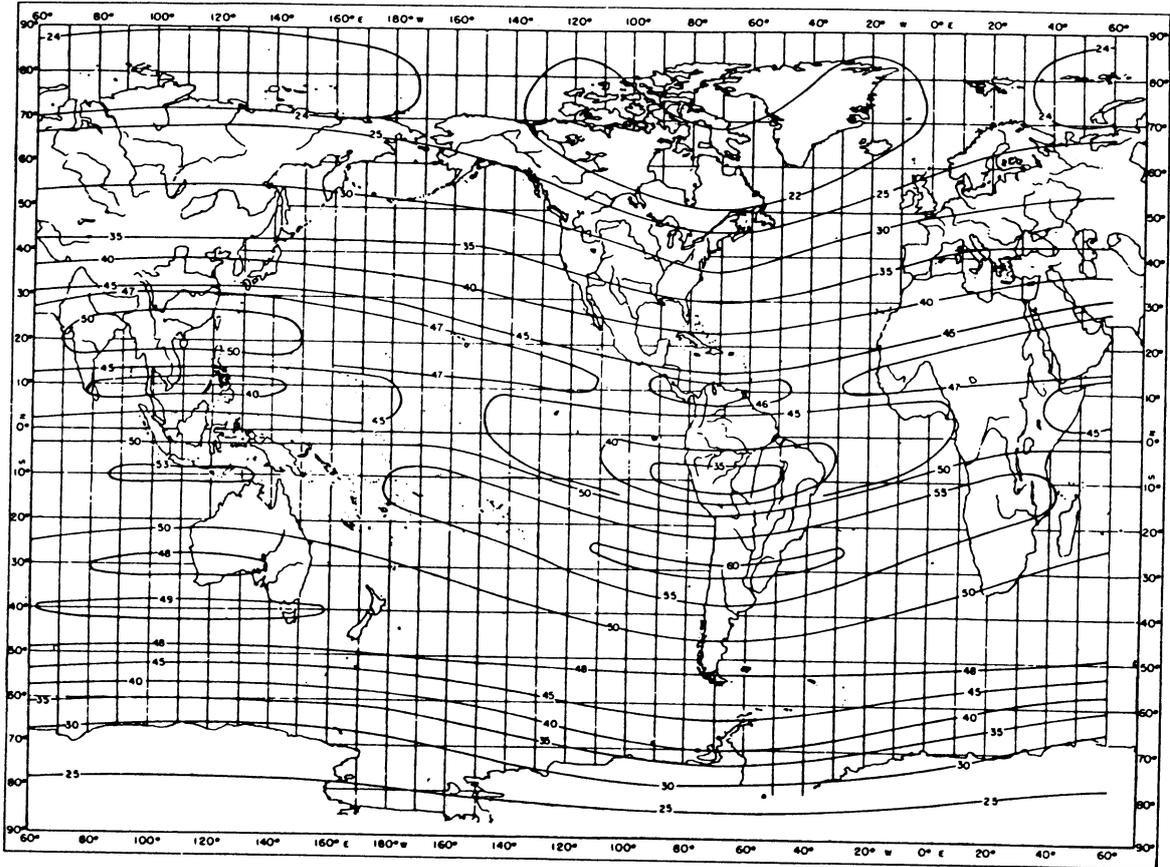


FIGURA 2 - F2 (4000) MUF excedida durante el 1 % de las horas - Solsticio de junio; máximo de actividad solar

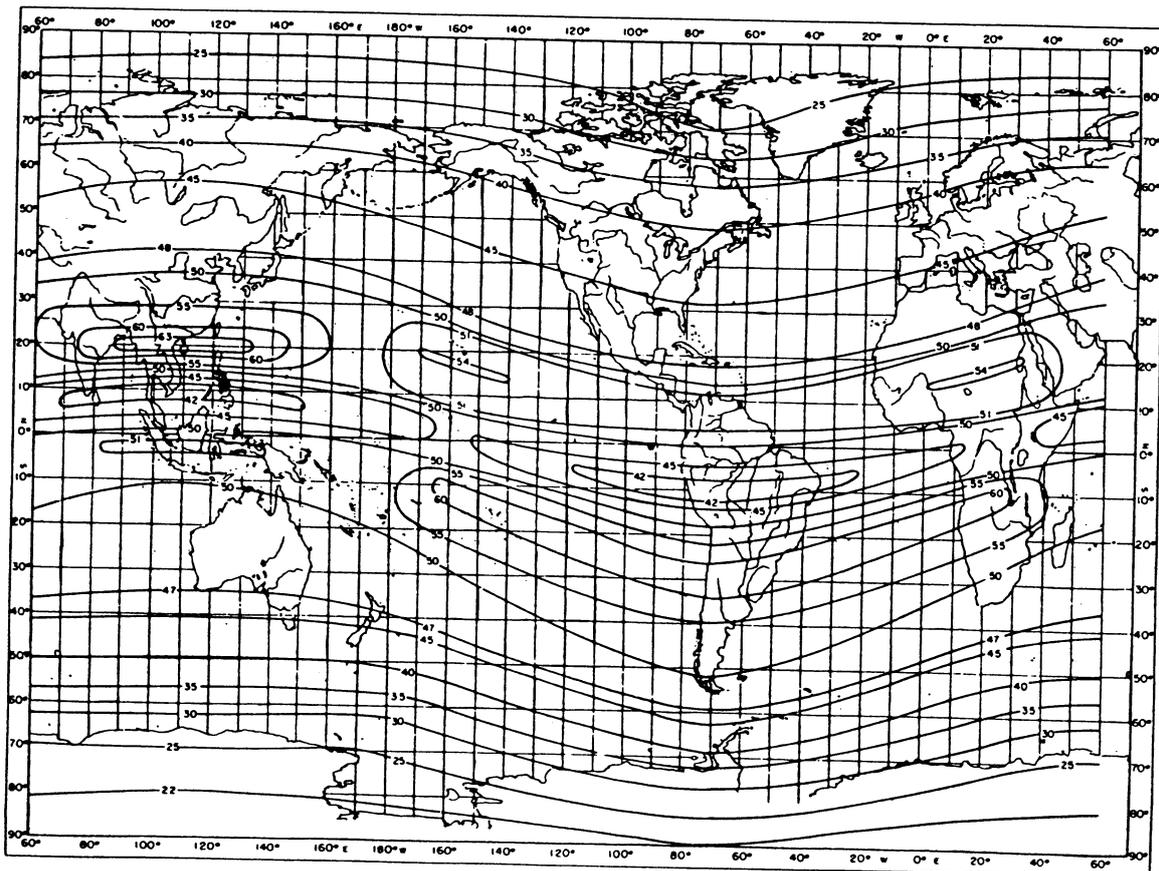


FIGURA 3 - F2 (4000) MUF excedida durante el 1 % de las horas - Equinoccio; máximo de actividad solar

2.2 Propagación anormal por la Región F

2.2.1 *Propagación transecuatorial*

Estudios recientes demuestran que se pueden efectuar transmisiones de nivel elevado, sobre todo durante los años de intensa actividad solar, por largos trayectos Norte-Sur que atraviesen el ecuador magnético. La mayoría de las observaciones han sido hechas por aficionados en una frecuencia de 50 MHz y en trayectos de 4000 a 9000 km; se han obtenido resultados para trayectos América del Norte-América del Sur, África-Europa y Japón-Australia.

De conformidad con los experimentos efectuados entre Australia y Japón durante aproximadamente un ciclo de actividad solar (1965-1974) en las frecuencias de 32, 48 y 72 MHz, y durante medio ciclo de actividad solar aproximadamente (1969-1974) en las frecuencias adicionales de 88 y 102 MHz, se ha comprobado que la propagación transecuatorial tiene lugar en la frecuencia de 32 MHz durante gran parte del día (salvo algunas horas de la mañana) aún durante los años de poca actividad solar. Aumentó el número de horas de recepción en función de esta actividad. En las frecuencias de 48, 72, 88 y 102 MHz, se produjo una propagación transecuatorial después de las 2000 hora local aproximadamente, durante los dos periodos equinocciales, y se mantuvo durante 6 a 8 horas en 48 MHz y durante 2 a 4 h en 102 MHz. La fig.4 muestra las variaciones a largo plazo de las pérdidas de transmisión básicas en ondas métricas propagadas por el trayecto transecuatorial [Tao y otros, 1970]; Kuriki y otros, 1972; Tanohata y otros, 1980]. Sobre la base de los niveles de señales observados en estas cuatro frecuencias, la potencia de señal recibida normalizada a 1 kW p.r.a. y utilizando antenas transmisoras y receptoras de dipolo, es inversamente proporcional a un valor comprendido entre la décima y la duodécima potencia de la frecuencia [Kuriki y otros, 1972].

Al parecer, la propagación de día se efectúa según el modo 2F como consecuencia de la anomalía ecuatorial, y los desvanecimientos de la señal durante la noche se deben a la dispersión asociada con la capa F difusa ecuatorial [Tao y otros, 1970].

Parece haber dos tipos de propagación transecuatorial (PTE) caracterizados por la horas de máxima ocurrencia, las características de desvanecimiento y los modos de propagación. McCue y Fyfe [1965] y Nielson y Crochet [1974] han publicado análisis generales de la PTE.

El primer tipo de PTE, denominado tipo de tarde, tiene las características siguientes:

- una ocurrencia máxima alrededor de las 1700-1900 LMT (hora media local), considerándose la hora en el punto en que el circuito corta el ecuador magnético;
- señales estables normalmente fuertes con un bajo índice de desvanecimiento y una pequeña dispersión Doppler (aproximadamente $\pm 2-4$ Hz);
- longitudes de trayecto de unos 6000-9000 km y algunas veces mayores.

Gibson-Wilde [1969] ha sugerido que al menos en la zona de Australasia estas señales probablemente viajan por el «supermodo» o modo FF propuesto por Villard y otros [1957]. La propagación por este modo implica dos reflexiones en la región F sin reflexión en el suelo.

El segundo tipo de PTE que se denomina tipo vespertino, generalmente admite frecuencias más altas que el tipo de tarde y tiene características muy diferentes:

- una ocurrencia máxima alrededor de las 2000-2300 LMT;
- elevadas intensidades de señal pero con desvanecimiento profundo y rápido a frecuencias de hasta unos 15 Hz y una gran dispersión Doppler que algunas veces excede de 40 Hz;
- longitudes de trayecto usualmente más cortas que para el modo del tipo de tarde, de unos 3000 a 6000 km.

El modo de propagación para la PTE del tipo vespertino es aún incierto. Se han propuesto diferentes mecanismos para explicar este tipo de PTE; pueden hallarse explicaciones detalladas en Bowen y otros [1968], Tao y otros [1970], Kuriki y otros [1972], McNamara [1973], Heron y McNamara [1979], Winkler [1981] y Ferguson y Booker [1983].

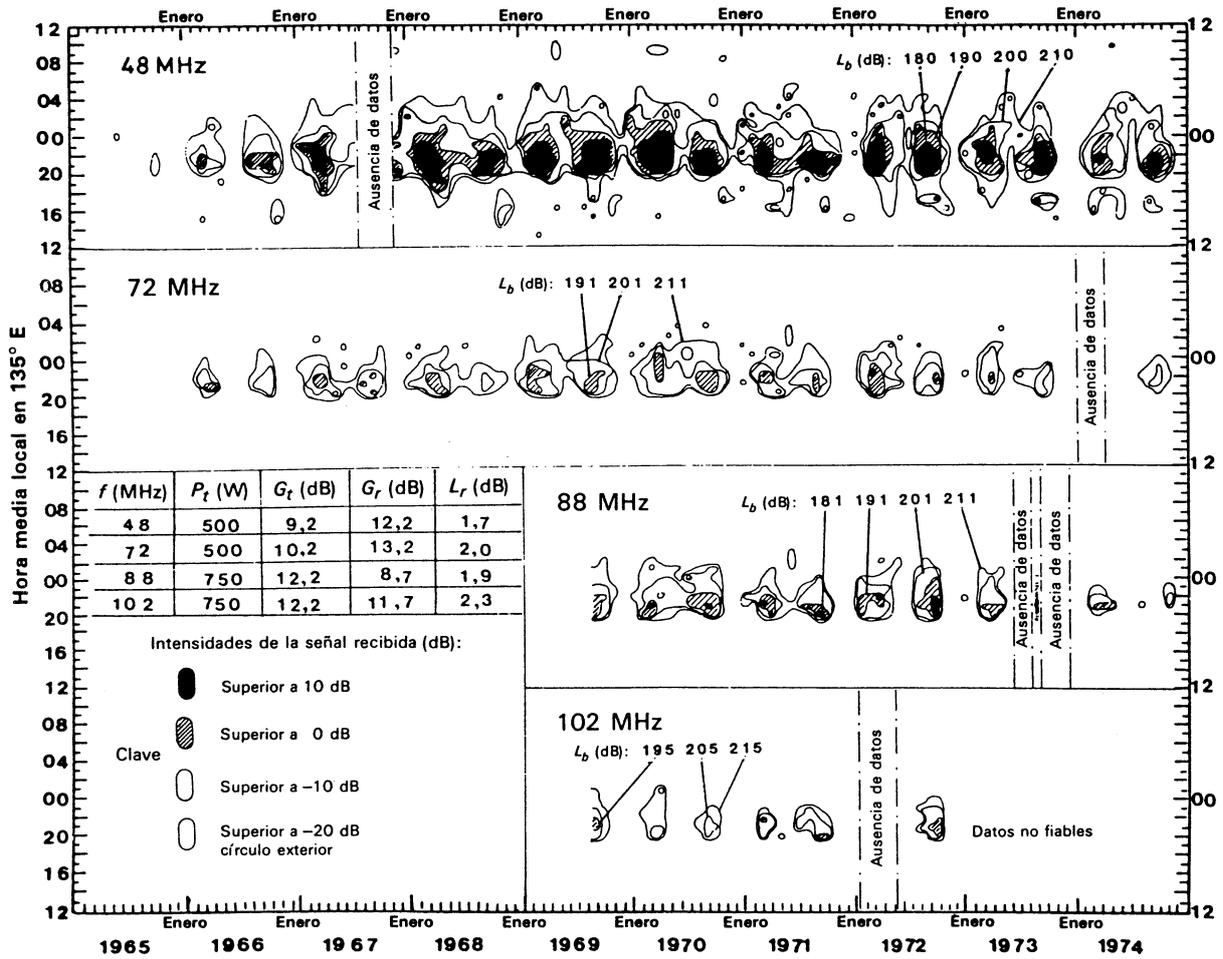


FIGURA 4 — Pérdidas de transmisión básicas (L_b) e intensidades de la señal recibida (V_r) indicadas por la tensión en la antena en circuito abierto

P_t : potencia del transmisor

G_t : ganancia de la antena del transmisor

G_r : ganancia de antena del receptor

L_r : pérdida en los alimentadores de recepción

La intensidad de la señal recibida se expresa en dB(1 μ V).

2.2.2 Otros mecanismos de propagación anormal

Los estudios realizados demuestran que a veces se encuentran islotes de ionización situados a alturas virtuales distintas de las de todas las capas ionosféricas conocidas. Estas irregularidades de ionización pueden reflejar en ocasiones ondas de frecuencias de la gama de 30 a 300 MHz, siendo el caso más típico aquel en que la reflexión se produce en los bordes de irregularidades de ionización alineadas según el campo magnético, lo que sucede en la zona de las auroras polares o en sus proximidades. Esta clase de reflexiones puede constituir una causa de interferencias para estaciones que funcionan en frecuencias comprendidas entre 30 y 300 MHz [Czechowsky, 1970].

Se han observado reflexiones en la región F en frecuencias notablemente superiores a la MUF básica-F2, pero con niveles bastante inferiores a los del espacio libre. La observación de estas reflexiones se ha efectuado en el Lejano Oriente, en América del Sur y en África. Al parecer, se trata de un fenómeno característico de los años de actividad solar intensa, que se produce sobre todo durante los meses de equinoccio [Bateman y otros, 1959].

Se observan valores de MOF mejorados por la noche en los circuitos de Guam a N. W. Cape (Australia) y de Manila a N. W. Cape durante los meses del equinoccio con elevada actividad solar. Los valores de MOF rebasan la MOF 2F y a menudo exceden de 32 MHz, el límite superior del equipo. Han sido explicadas por McNamara [1974b] como un modo de propagación de dos tramos. Se deduce que la propagación en el primer tramo se debe a la dispersión producida por irregularidades alineadas. Se supone que la longitud del primer tramo es menor que la longitud total del circuito, propagándose el segundo tramo a través de la capa F y teniendo una MUF mayor que el segundo tramo, de modo 2F normal.

2.2.3 *Dispersión lateral en tierra y en la ionosfera*

Se ha observado que los acimutes de llegada de las ondas métricas que se propagan por la ionosfera difieren notablemente de los que corresponden a propagación a lo largo del círculo máximo. Estas señales son resultado principalmente de modos de propagación por múltiples saltos en los que la dispersión lateral se debe a irregularidades de la superficie de la Tierra (Informe 726). Los niveles de las señales son muy inferiores a los que corresponderían a una propagación en el espacio libre y tienen frecuencias de desvanecimiento inferiores a 1 Hz.

3. Región E

La propagación de ondas métricas por la capa E normal es improbable en todo momento, mientras que la propagación por ionización meteórica o nubes en la capa E esporádica suele ser significativa.

3.1 Propagación por ionización meteórica

Estudios de propagación por ionización de meteoritos se han realizado en Canadá, República Federal de Alemania, Reino Unido, Estados Unidos de América y otros países. En el Informe 251 se halla una bibliografía al respecto.

A pesar de su aparición irregular, pueden efectuarse predicciones diarias de la duración de aperturas en la banda baja de ondas métricas, y como se trata de un fenómeno cotidiano, se utilizan para la transmisión de datos, en redes dedicadas al efecto.

3.2 **Ionización esporádica de la región E**

La ionización esporádica de la región E ————— se manifiesta como una capa horizontal de intensa ionización que mide aproximadamente 1 km de espesor y 100 km en sentido horizontal. Estas capas se sitúan normalmente a una altura de 100 a 120 km y aparecen de forma aleatoria y de preferencia en determinados meses del año y horas del día (véanse también los Informes 725 y 255). Hay tres zonas principales de ionización E esporádica en las latitudes bajas, medias y aurorales.

La zona de las latitudes bajas se subdivide en dos subzonas, la zona ecuatorial y la zona subecuatorial (véase la Recomendación 534). La zona ecuatorial forma un cinturón de 6° aproximadamente de inclinación magnética a cada lado del ecuador magnético, desplazándose el borde del cinturón aproximadamente un grado de latitud magnética entre verano e invierno, siendo su máxima distancia al ecuador magnético durante el solsticio de verano. En la parte iluminada de este cinturón se produce regularmente una forma muy transparente de ionización E esporádica (de tipo q) y puede demostrarse que esta ionización está relacionada con el chorro electrónico ecuatorial. Se observan ecos de incidencia vertical producidos por las capas Es ecuatoriales a frecuencias superiores a 7 MHz durante altos porcentajes de tiempo, con grandes diferencias entre los distintos continentes [Giráldez, 1980]. Aunque no se aprecia ninguna variación estacional significativa en el diagrama de apariciones, existe una tendencia de aparición de crestas de equinoccio en las estaciones próximas al Ecuador de inclinación magnética y de crestas de solsticio en las estaciones situadas a pocos grados del mismo [Oyínloye, 1988]. La propagación de las ondas métricas por la capa E esporádica de tipo q se hace por dispersión. La zona subecuatorial se extiende a ambos lados de este cinturón hasta $\pm 20^\circ$ de latitud magnética.

Las zonas de latitudes medias comprenden la mayor parte de la Tierra, y se extienden desde la zona de latitudes bajas hasta unos 60° de latitud geomagnética (de hecho, hasta la latitud en que la probabilidad de ocurrencia de las auroras llega al 15% de su máximo). La principal característica de las zonas de latitudes medias es la máxima frecuencia de ocurrencia, en verano, de la capa E esporádica; este máximo es más acusado en latitudes más altas, y se modifica profundamente bajo la influencia de la zona auroral. La ionización E esporádica raramente se produce entre medianoche y las 0600 hora local. Normalmente aparece más frecuentemente alrededor de las 1000 hora local y, en algunas zonas, por la tarde o al anochecer. La capa E esporádica es a menudo muy densa durante el día. En las zonas de latitudes medias la probabilidad de ocurrencia de la capa E esporádica varía considerablemente según la longitud y la latitud. El máximo mundial parece estar situado entre las coordenadas geográficas de 120° y 160° de longitud Este y 15° y 40° de latitud Norte [Li Zanju, 1988]. Un mecanismo asociado a las cizalladuras del viento podría ser una mejor explicación de la ionización intensa E esporádica en las latitudes medias.

En las zonas aurorales, la característica predominante es la máxima probabilidad de ocurrencia durante la noche de la capa E esporádica. El máximo registrado en verano en las latitudes medias desaparece totalmente en la zona de máximo de las auroras visibles. Las zonas aurorales, al igual que la ecuatorial, son regiones de gran flujo de corriente en la parte inferior de la ionosfera. También son regiones en donde se pueden formar capas ionizadas por la precipitación de partículas cargadas. Es probable que ambos fenómenos sean causa de la ionización E esporádica. La aparición de E esporádica en las regiones aurorales de latitudes altas está estrechamente vinculada al óvalo auroral instantáneo [Wagner y otros, 1973]. Hunsucker [1975], Wilson y otros [1976] y Wright y Hunsucker [1983] han descrito la función de la precipitación de partículas cargadas, las corrientes ionosféricas y el mecanismo de cizalladura del viento en la ionización de la capa E esporádica y en la morfología y estructura de esta ionización. El mecanismo de producción predominante parece ser la precipitación de partículas aurorales (electrones con una energía de 1-10 keV). Hagg y otros [1959] hicieron un descubrimiento interesante de la hora local en función de la variación de la latitud en la máxima frecuencia de ocurrencia de la capa E esporádica. (Obsérvese que los conocimientos actuales muestran que su explicación del fenómeno es incorrecta.) Aproximadamente a las 20 hora local, este máximo se alcanza a uno 72° de latitud geomagnética; a medida que aumenta la hora local el máximo se desplaza gradualmente hacia el Ecuador, y alcanza unos 60° de latitud geomagnética a las 03 hora local.

3.3 Informes de propagación por la capa E esporádica

La aparición de propagación por la capa E esporádica disminuye en función de la frecuencia. Puede considerarse un fenómeno despreciable por encima de 100 MHz, salvo como fuente de interferencia en los circuitos que requieren gran fiabilidad.

3.3.1 Latitudes bajas

Se ha analizado también la recepción de señales de televisión en la India, en la banda comprendida entre 47 y 68 MHz [Saksena, 1979]. Por otro lado los radioaficionados tienen un gran interés en la propagación por la capa E esporádica y frecuentemente se notifican comunicaciones vía Es en frecuencias de hasta 144 MHz [CCIR, 1978-82].

En circuitos entre Guam y N. W. Cape (Australia) y entre Manila y N. W. Cape se ha deducido que existen modos de propagación de combinación, en los cuales un tramo se establece a través de la capa E esporádica ecuatorial mientras que el otro es un salto de larga distancia a través de la capa F normal, [McNamara, 1974a]. Durante el día, estos dos circuitos admiten el modo Es-F con una frecuencia máxima observada (MOF) a menudo superior a 32 MHz (el límite superior de la onda oblicua) y un modo 2Es-F con una MOF un poco más baja. Parece que el circuito Manila-N. W. Cape admite también los modos 2F y 3F normales, pero el modo 2F puede no existir en el circuito Guam-N. W. Cape debido al apantallamiento Es.

Los resultados obtenidos en un trayecto subecuatorial de 1985 km (de Este a Oeste) entre Sao Paulo (Brasil) y Tucumán (Argentina) para una frecuencia (audio) de televisión de 59,75 MHz, una potencia del transmisor efectiva en la dirección de la recepción de 9 kW, y, ganancia de antena de recepción de 6 dB (polarización horizontal, altura de 14 m) [Moro, 1984] presentan las siguientes características:

- alto porcentaje de ocurrencia por la noche (de 2000 a 0100, hora local);
- para una intensidad de campo superior a $5 \mu\text{V/m}$ la ocurrencia se distribuye normalmente con una máxima de (70 horas/mes) al final de la primavera, y una mínima de (1 hora/mes), al final del otoño;
- para el periodo primavera-verano, se ha informado que durante el 60% de los días ha habido contactos de $2\frac{1}{2}$ horas de duración con una intensidad de campo igual o superior a $5 \mu\text{V/m}$;
- el porcentaje de horas/mes disminuye muy rápidamente a medida que aumenta la intensidad de campo y pasa de una máxima al final de la primavera a dos máximas a comienzos de primavera y de otoño (septiembre y marzo) para intensidades de campo superiores a $10 \mu\text{V/m}$. En la fig.5 se resume la recepción observada en horas/mes, en función del mes y del nivel de la intensidad de campo.

3.3.2 Latitudes medias

Estudios preliminares en el sector sudamericano indican que el comportamiento de la propagación oblicua vía E-esporádica en dicho sector puede ser descrita aceptablemente por las características indicadas a continuación para el sector europeo.

Los sondeos por impulsos de incidencia oblicua efectuados entre Grecia y la República Federal de Alemania (1700 km) [Reinisch, 1965] demostraron que, de mayo a septiembre, la frecuencia máxima observada (MOF) la determinaban a menudo reflexiones en la capa E esporádica, con probabilidad media diurna (0600 a 1800, hora local) del 10% aproximadamente en 22 MHz y casi nula en 30 MHz. El estudio de los datos de incidencia oblicua obtenidos en los circuitos Ottawa-La Haya (5500 km) y Winnipeg-Resolute Bay (2800 km), ha demostrado que el modo de propagación por la capa E esporádica determina a veces la MUF de explotación, y que raramente se produce propagación por la capa E esporádica en frecuencias superiores a 30 MHz, en esos trayectos [Stevens, 1968].

Minullin [1988], Minullin y otros [1988] han dilucidado y descrito analíticamente las variaciones espacio-temporales de las frecuencias límites foES para las latitudes medias, lo que permite calcular la probabilidad de valores específicos de foES en una determinada latitud, estación del año y hora del día. Se han determinado las variaciones del coeficiente de reflexión de la capa Es con incidencia oblicua en función de su frecuencia límite de la capa E esporádica y de la frecuencia crítica de la capa E ordinaria.

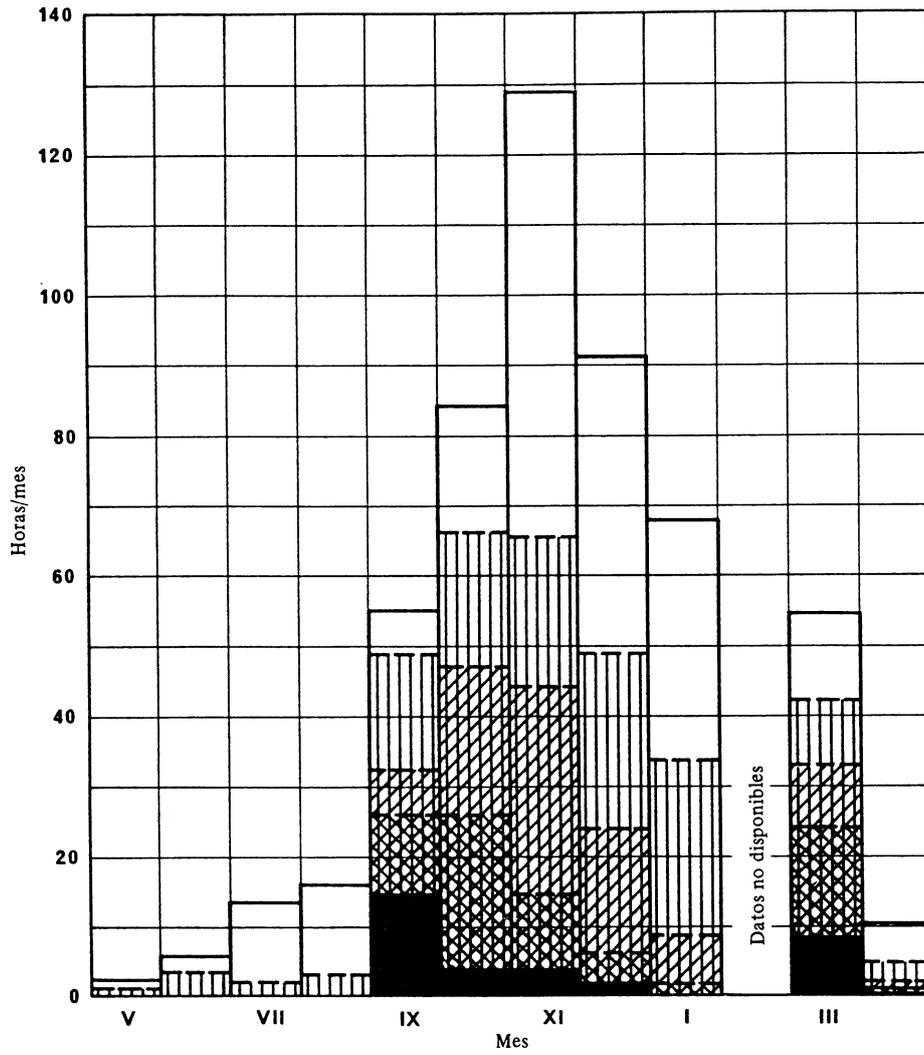


FIGURA 5 – Número acumulado de horas/mes con una intensidad de campo determinada (1980-1981)

- E > 2 μV/m
- E > 5 μV/m
- E > 10 μV/m
- E > 20 μV/m
- E > 50 μV/m

Los números romanos indican el número del mes (I = enero)
 Potencia radiada aparente en la dirección del receptor: 9 kW

Desde 1962, la UER ha efectuado registros en 23 trayectos [Lari y otros, 1967] de Europa occidental que se extienden en distintas direcciones y cuya longitud oscila entre 900 y 2510 km. Las mediciones se han efectuado en cinco frecuencias comprendidas entre 41 y 59 MHz, diariamente entre las 0800 y las 2300 h UTC y cada año de abril a fines de octubre. Los resultados pueden resumirse como sigue:

- los datos difieren mucho de un año a otro, habiéndose observado diferencias de hasta 35 dB entre los valores de la intensidad de campo;
- el mes de máxima ionización de la capa E esporádica se sitúa entre fines de primavera y fines de verano;
- en un trayecto dado, ese mes variaba de un año a otro y, en un año determinado, de un trayecto a otro;
- los estudios sobre la variación de la intensidad de campo con la distancia han puesto de manifiesto que los valores máximos del campo (superados durante el 1% del tiempo) se observan a distancias de unos 1400 a 1500 km; a esas distancias, la intensidad de campo excedida durante el 5% del tiempo fue inferior en unos 15 a 30 dB. A 2500 km, las intensidades de campo correspondientes fueron sólo de 10 a 20 dB inferiores a las de 1500 km. Este resultado significa que, en ondas métricas, la refracción atmosférica y el empleo de antenas elevadas puede ampliar el alcance máximo de la propagación ionosférica por un salto, más allá de la experimentada normalmente en frecuencias inferiores.

Las observaciones realizadas durante el periodo que abarca un ciclo solar completo de 11 años, indican que no hay una correlación simple a largo plazo entre la actividad solar* y la propagación de las ondas métricas a través de la capa E esporádica. Sin embargo, se ha puesto de manifiesto que las variaciones anuales son bastante regulares y tienden a ser similares en distintos trayectos.

En el cuadro I se muestran los años en que se observaron los máximos y mínimos de intensidad de campo.

CUADRO I

Trayecto	f (MHz)	Intensidad de campo máxima	Intensidad de campo mínima
Divis - Enköping	41.465	1964. 1966. 1971	1965. 1967/8
Divis - Châtonnaye	41.465	1964. 1966. 1971	1965. 1967/8
Meldrum - Enköping	58.215	1963/4. 1966	1965
Divis - Monte-Lauro	41.465	1964. 1968/9. 1971	1963. 1965/6. 1970

El análisis de los registros hechos en ondas decamétricas durante varios años en Aberystwyth, Reino Unido, del nivel de las señales recibidas en tres frecuencias ha permitido establecer estadísticas del comportamiento temporal de los fenómenos observados en la capa E esporádica [Edwards y otros, 1984]. Las estadísticas se refieren a unos nueve años de registros en 59,25 y 62,25 MHz, y a unos seis años de registros en 77,25 MHz. Las señales provenían de estaciones de radiodifusión situadas principalmente en Europa central y oriental, a distancias entre 1000 y 2000 km, y con potencias radiadas aparentes comprendidas entre 50 y 100 kW. El análisis se ha limitado al periodo de tiempo entre las 0600 y las 2300 h UTC de cada día, por haber pocas transmisiones regulares fuera de esas horas.

* Máximo de manchas solares: 1968-1969; mínimo: 1964-1965.

En la fig. 6 se muestran distribuciones acumulativas para 62,25 MHz que indican el porcentaje de la duración total de la capa E esporádica en el verano, en función de la duración del fenómeno. Las distribuciones demuestran que la duración total de todos los fenómenos se debe en gran parte a la duración de los más largos. En un nivel de referencia de 3 dB($\mu\text{V}/\text{m}$), contribuyeron al 75% de la duración total los fenómenos que duraron más de 5 min, y en el nivel de 13 dB($\mu\text{V}/\text{m}$) los que duraron más de 4 min. Para 59,25 y 77,25 MHz se obtuvieron distribuciones análogas.

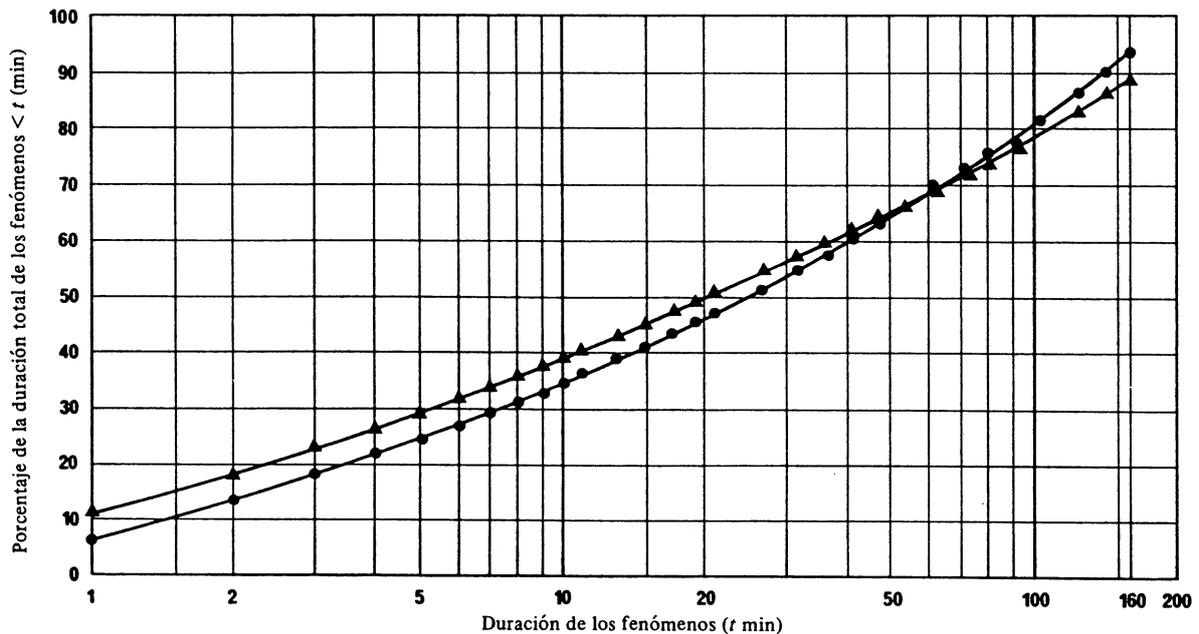


FIGURA 6— Porcentaje acumulativo de la duración de los fenómenos en verano, en función de la duración para los dos niveles observados de umbral en Aberystwyth, en 62,25 MHz

Nivel de umbral ($\mu\text{V}/\text{m}$):

- 3 dB
- ▲ 13 dB

Las figs. 7a) y 7b) muestran las duraciones medias totales de los fenómenos de la capa E esporádica de las tres frecuencias representadas por mes. Las dos figuras se refieren a los acontecimientos que rebasan niveles de intensidad de campo de 3 dB($\mu\text{V}/\text{m}$) y 13 dB($\mu\text{V}/\text{m}$), respectivamente. Se observa claramente una variación estacional bien definida, que muestra la capa E esporádica como un fenómeno esencialmente veraniego, con muy poca actividad entre septiembre y abril. Los fenómenos de la capa E esporádica se producen sobre todo en 62,25 MHz, en comparación con 59,25 MHz, como característica notable, en contra de la dependencia de la frecuencia de la propagación por la capa E esporádica aceptada generalmente. Sin embargo, en una comparación de esta índole, es importante considerar la distribución geográfica de las fuentes de transmisión en cada frecuencia, así como el número. Aunque en 62,25 MHz hay menos estaciones que en 59,25 MHz, abarcan un arco considerablemente más amplio centrado en Aberystwyth, por lo que cabe esperar que el número de trayectos de propagación potencial en 62,25 MHz rebase al de 59,25 MHz.

Las figs. 7a) y 7b) indican que la mayor actividad se produce en junio, y en el cuadro II se resumen los porcentajes del tiempo total analizado con respecto a los cuales se observaron en cada frecuencia fenómenos de la capa E esporádica.

CUADRO II – *Máximos porcentajes de tiempo medio observados de propagación por la capa E esporádica*

	59,25 MHz	62,25 MHz	77,25 MHz
3 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	8	12	2
13 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	5	6	1,3

Las figs. 8 a) y 8b) muestran la variación diurna media de la duración del fenómeno de la capa E esporádica durante los meses de verano de mayo a agosto.

Las distribuciones presentan una doble estructura de cresta en 59,25 y 62,25 MHz, pero sólo una cresta nocturna al atardecer en 77,25 MHz. Sin embargo, se observaban claramente considerables variaciones en las estructuras diurnas de los distintos meses.

La distribución de las duraciones de los fenómenos en el verano rebasan los dos umbrales de intensidad de campo para 62,25 MHz que se muestran en la fig. 9. Las distribuciones indican que:

- son más frecuentes los fenómenos que tienen la duración más corta: Cerca del 75% de los fenómenos observados que superan el nivel de 3 dB($\mu\text{V}/\text{m}$) tienen duraciones de menos de 3 min, y el 75% de los observados que superan el nivel de 13 dB($\mu\text{V}/\text{m}$), de menos de 4 min;
- los fenómenos más importantes (es decir, los que superan el nivel de 13 dB($\mu\text{V}/\text{m}$) tienden a durar más que los que superan el nivel más bajo (3 dB($\mu\text{V}/\text{m}$)).

Para 59,25 y 77,25 MHz se obtuvieron distribuciones similares, que revelan una ligera dependencia de la frecuencia con una tendencia hacia fenómenos más breves en la frecuencia más alta. Otros estudios sobre la duración de los fenómenos revelan un mejoramiento del número de fenómenos más breves que coinciden con chubascos reiterados de meteoros, lo cual indica una contribución de la propagación asociada a las estelas de meteoros de larga duración.

En un breve estudio realizado por la UER en tres trayectos durante el mes de junio de 1971 se obtuvo una distribución similar a la de la fig. 9. Se encontró que la distribución es ampliamente independiente de la longitud del trayecto [UER, 1976].

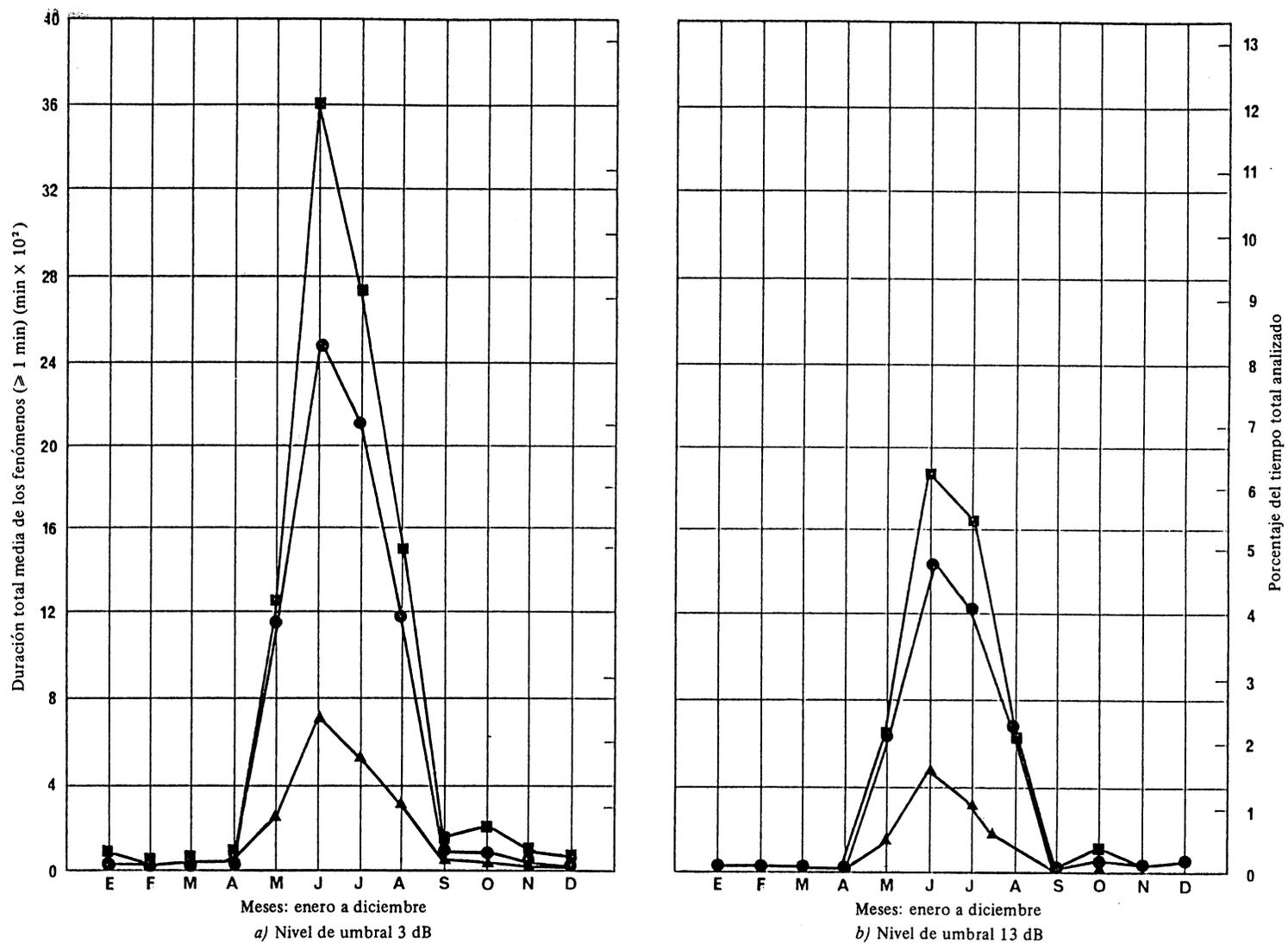


FIGURA 7 - Variaciones estacionales de la duración total media de los fenómenos que rebasan intensidades de campo de 3 dB($\mu V/m$) y 13 dB($\mu V/m$)

Frecuencia (MHz):

● 59,25 ■ 62,25 ▲ 77,25

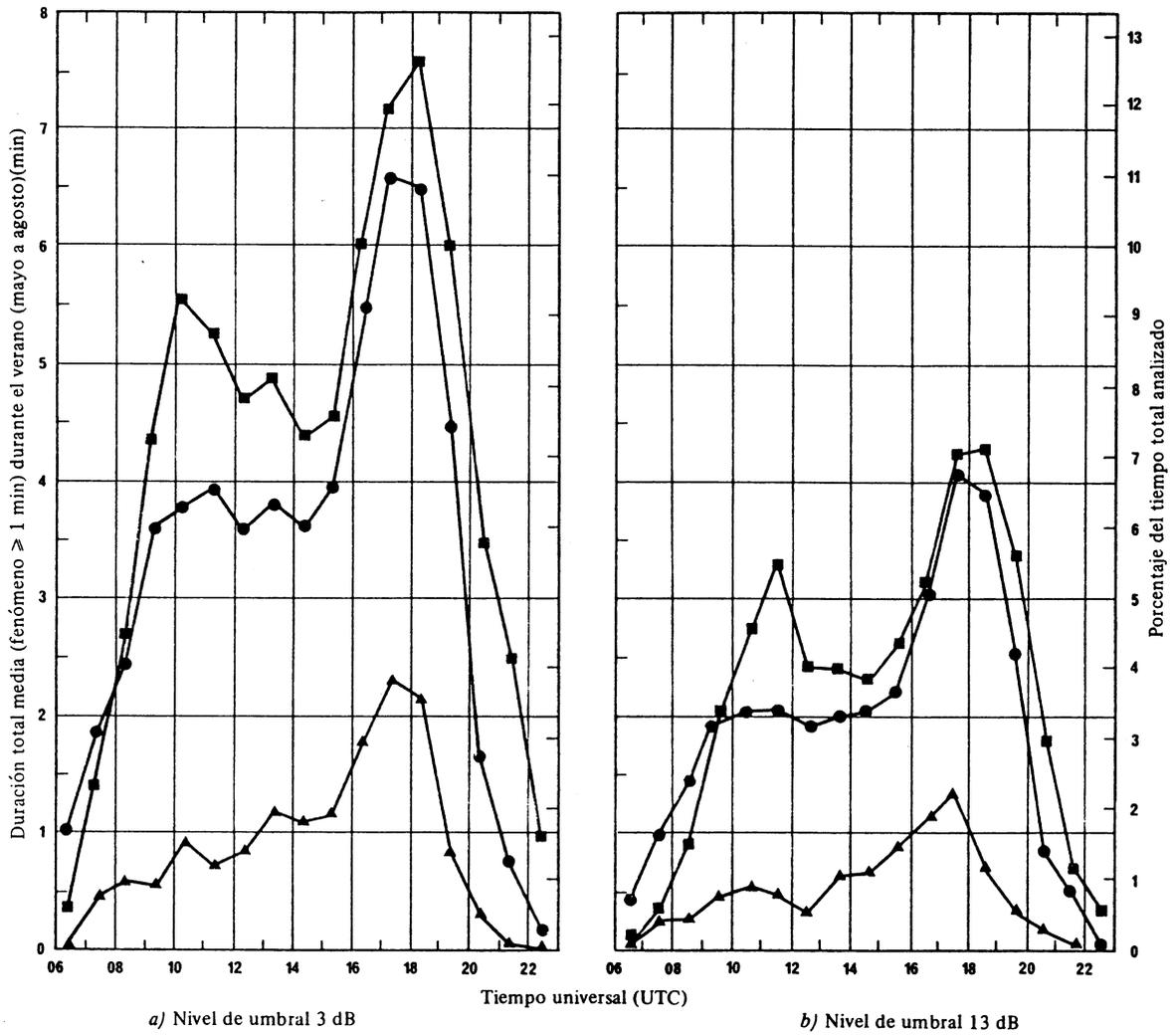


FIGURA 8 – Variaciones diurnas de la variación total media de los fenómenos que rebasan intensidades de campo de 3 dB($\mu V/m$) y 13 dB($\mu V/m$)

Frecuencia (MHz):

● 59,25

■ 62,25

▲ 77,25

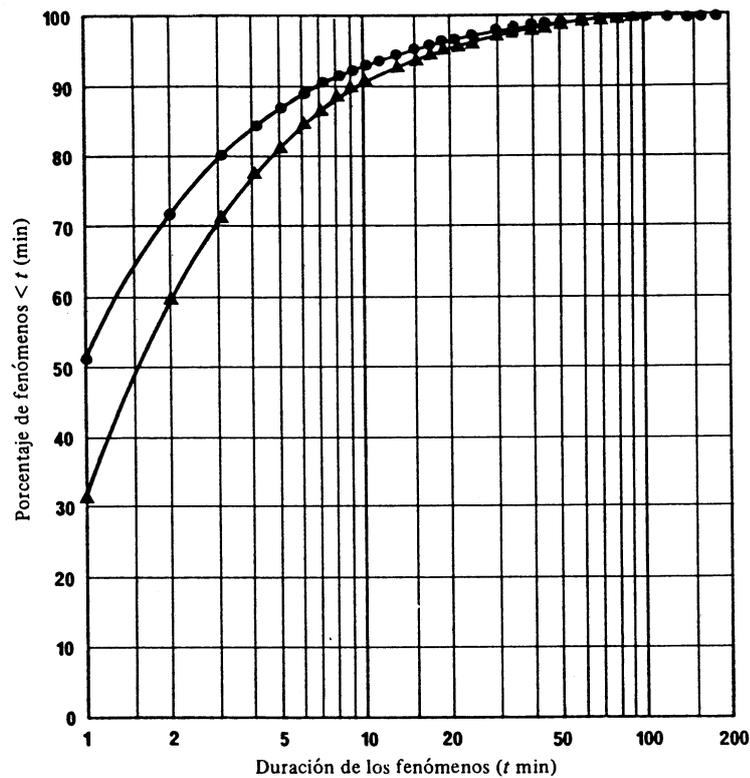


FIGURA 9— Distribución acumulativa de los fenómenos durante el verano en función de la duración para los dos niveles observados de umbral en Aberystwyth, en 62,25 MHz

Nivel de umbral ($\mu\text{V/m}$):

- 3 dB
- ▲ 13 dB

Canivenc [1988] ha publicado informes detallados sobre observaciones de radioaficionados en frecuencias de hasta 144 MHz en Europa durante apariciones de la capa E esporádica intensa.

3.3.3 Latitudes altas

Cerca de Fairbanks, Alaská [Wilson y otros, 1976] se han registrado frecuencias de plasma de hasta 14,9 MHz a 100 km de altitud. Si se supone un factor de secante limitado por la curvatura de la Tierra de 5, la MUF será de 74,5 MHz. Se ha observado una propagación mediante la capa E esporádica por trayectos polares de hasta 5000 km de longitud con una MUF de hasta 46 MHz [Hunsucker, 1979].

3.4 Cálculo de la intensidad de la señal transmitida por la capa E esporádica

La única fuente constante e importante de datos sobre la ionización E esporádica, es la red mundial de estaciones de sondeos ionosféricos. Es importante, pues, desarrollar métodos cuantitativos para calcular las características de las transmisiones en incidencia oblicua, partiendo de los datos de incidencia vertical. Esta ecuación ha sido estudiada en Estados Unidos de América por Davis y otros [1959].

Se ha llevado a cabo en Japón un estudio de este problema por Miya y Sasaki [1966] y Miya y otros [1978]. La ionización E esporádica se caracteriza en primer lugar por su coeficiente de reflexión Γ , registrado en incidencia oblicua en circuitos de ondas métricas. Según dicho estudio cuando $\Gamma \leq 45$ dB, la reflexión en la capa E esporádica es especular, y cuando Γ está comprendido entre 45 y 70 dB se produce un fenómeno de dispersión. Existen curvas que permiten calcular Γ en función de la relación $f/foEs$, siendo f la frecuencia de transmisión y $foEs$ la frecuencia crítica en incidencia vertical de la onda ordinaria para reflexión en la capa E esporádica, deducida de los ionogramas. Así puede evaluarse la intensidad de campo para la propagación por un solo salto (de 0 a 2600 km) y por dos saltos (de 2600 a 4000 km) mediante la capa E esporádica. Una característica importante de este método es que se incluye la pérdida de acoplamiento entre la antena y el medio.

El Grupo Interino de Trabajo 6/8 ha tratado de la pérdida por reflexión en la señal E esporádica aplicando el mismo análisis utilizado en el estudio japonés descrito más arriba. En el estudio se emplearon numerosos datos correspondientes a la zona templada, incluidos datos de la campaña de mediciones de la UER de 1962 a 1972 [UER, 1976]. Según se indica en el anexo I a la Recomendación 534 el método del GIT 6/8 para calcular la intensidad de las señales transmitidas por intermedio de la capa E esporádica en la banda de ondas métricas, y para cierto porcentaje de tiempo de ocurrencia. Este método no sólo es aplicable para las ondas métricas sino que se espera también lo sea para la mitad superior de la banda de frecuencias correspondiente a las ondas decamétricas si se tiene en cuenta la absorción no desviativa de la región D [CCIR, 1974-1978].

En Italia se realizaron en 1973 y en 1974 una serie de mediciones de transmisores de televisión a distancias comprendidas entre 1000 km y 2500 km para determinar la intensidad de campo interferente en unos 55 MHz causada por la propagación por la capa E esporádica. Los resultados revelaron que la intensidad de campo alcanza un máximo constante a una distancia de unos 1800 km y demostraron estar en conformidad con lo previsto por el método descrito en [Miya y otros, 1978].

Se ha elaborado un método en la URSS para calcular la inhomogeneidad horizontal de la capa Es caracterizada por el ángulo de inclinación de las isoclasas de densidad electrónica sobre la base de datos de sondeos con incidencia vertical. Este método se ha utilizado para calcular los efectos de enfoque y desenfoque de las ondas reflejadas en la capa Es [Kerblai y Kishcha, 1985].

El análisis de datos del anillo ecuatorial, demuestra que el porcentaje de tiempo de aparición de la ionización de la E esporádica es muy superior en trayectos que tengan al anillo ecuatorial como punto de reflexión, además de seguir una ley aproximadamente lineal con la frecuencia máxima de reflexión vertical, en vez de la bien conocida ley logarítmica (ley de Phillips) aceptada para latitudes medias.

Los estudios realizados en el Instituto Max-Planck [Möller, 1963] con emisiones de impulsos en ondas decamétricas y transmisiones de distinta potencia en un trayecto de 1965 km en latitudes medias sugieren que la propagación por la capa E esporádica pudiera ser sensible a la potencia. Así, una variación de 10 dB en la potencia del transmisor podría originar una ligera modificación (6 a 8%) de la MOF-Es. En los meses de verano, la sensibilidad a la potencia varía al parecer con la hora del día, lo que indica quizá una correlación entre esta sensibilidad y la estructura física de la capa E esporádica (véase el Informe 255).

De un estudio realizado por la U.R.S.S. sobre la propagación con incidencia oblicua en trayectos de unos 1000 km, y en frecuencias comprendidas en 4,5 y 40 MHz, con ionosondas cerca de los puntos medios del trayecto, se han deducido las siguientes conclusiones [Kerblai y otros, 1973 y 1979].

- la frecuencia de desvanecimiento durante la propagación Es por reflexión especular es lenta (0,01 a 0,1 Hz), pero aumenta cuando se establece el tipo de dispersión de la reflexión (0,05 a 0,4 Hz);
- si bien la ley de la secante que relaciona los valores de $foEs$ de incidencia vertical y de incidencia oblicua resulta satisfactoria en la banda de ondas decamétricas, en la de ondas métricas da valores inferiores en exceso de 1,2 a 1,3 veces.
- los valores medios de los efectos de enfoque y desenfoque durante la propagación de Es son de 2 a 4 y 5 a 7 dB respectivamente; en algunos casos (4% del número total de casos de la capa Es), el valor de desenfoque llega de 10 a 13 dB.

4.
300 MHz

Principales causas de interferencia a las estaciones que funcionan en frecuencias de 30 a

Origen de la interferencia	Zona de latitud	Periodo de interferencia intensa	Frecuencia máxima aproximada con interferencia intensa (MHz)	Frecuencia aproximada por encima de la cual la interferencia es despreciable (MHz)	Distancias aproximadas entre las que se manifiesta la interferencia (km)	Principales características distintivas
Reflexiones en la capa F normal	Media	Día, equinoccio e invierno, actividad solar máxima	50	60	Trayectos E-W 3000-6000 o Trayectos N-S 3000-10 000	Ocurrencias aproximadamente conformes con la morfología de la capa normal.
	Baja	De la tarde a primeras horas de la noche, actividad solar máxima	60	70		
Reflexiones en la capa E esporádica	Alta	Noche	70	90	500-4000	Principalmente durante los meses de verano en latitudes medias. Comienzo y final repentinos, empezando después y terminando antes al aumentar la frecuencia de explotación. La zona afectada tiene una extensión relativamente pequeña y es móvil. La duración es de minutos o de horas. No origina mejoras de la señal en distancias cortas.
	Media	Día y primeras horas de la noche, verano	60	83-135 (1)		
	Baja	Día	60	90		
Dispersión en la capa E esporádica	Baja	Desde el anochecer hasta medianoche	60	90	Hasta 2000	
Reflexiones por ionización meteórica	Todas	Particularmente durante lluvias	Puede ser importante en cualquier frecuencia de la gama		Hasta 2000	Ráfagas de señal con duraciones que varían desde una fracción de segundo a varios minutos. Variación diurna acusada, máximo a las 06.00 horas locales, mínimo a las 18.00 horas. Existe cierta actividad permanente, que aumenta considerablemente en los periodos de lluvias previsible.
Reflexiones en columnas de ionización auroral alineadas con el campo magnético	Alta	Última hora de la tarde y noche				Asociada a perturbaciones geomagnéticas, normalmente cuando el índice K local alcanza un valor de 5 ó 6 mayor. Nota rechinante característica debida a múltiples desplazamiento Doppler. Duración normal de unas pocas horas, a menudo desde primera hora de la tarde hasta medianoche.
Dispersión en la región F	Baja	Desde el anochecer hasta la medianoche, equinoccio	60	80	1000-4000	
Efectos especiales de propagación transecuatorial	Baja	Desde el anochecer hasta medianoche	60	80	4000-9000	Trayectos generalmente alineados de forma simétrica a lo largo del ecuador magnético. Generalmente coincidente con periodos equinocciales y con recurrencias regulares. Señales fuertes (véanse más detalles en el texto principal).
Propagación(2) troposférica anómala	Todas	En cualquier estación y a cualquier hora	Puede extenderse a las ondas decimétricas	Generalmente más allá de la banda de ondas métricas	Hasta 2.000 km	Asociada a las altas presiones atmosféricas. Sus efectos se extienden a una amplia zona con desplazamiento lento, aumento, y disminución graduales, y mejora de las señales normales en distancias cortas. Puede extenderse a varios días. Efectos comparables en una amplia gama de frecuencias, normalmente más elevadas de las afectadas por la capa E esporádica.

(1) Durante el 0,1 % del tiempo entre 08h00 y 23h00 hora local, en el periodo de mayo a agosto (111 min en total), pueden deducirse del anexo I a la Recomendación 534 las siguientes frecuencias, para una distancia de 1800 km y para $\Gamma = 30$ dB en una zona de latitud media:

Región A (Europa y África del Norte): 83 MHz
 Región B (América del Norte): 93 MHz
 Región C (Asia): 135 MHz
 Región D (Promedio para el hemisferio Norte): 115 MHz

(2) Véase la Recomendación 370.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATEMAN, R., FINNEY, J. W., SMITH, E. K., TVETEN, L. H. y WATTS, J. M. [1959] IGY observations of F-layer scatter in the Far East. *J. Geophys. Res.*, Vol. 64, 403-405.
- BOWEN, E. D., FAY, W. J. y HERITAGE, J. L. [1968] VHF characteristics of the transequatorial ionosphere. *J. Geophys. Res.*, Vol. 73, 2469-2476.
- CANIVENC, S. [1988] Propagation via la couche E sporadique et propagation sur les irrégularités alignées sur le champ magnétique terrestre. Analyse générale de quinze années d'observation dans la bande VHF. *Radio REF*, 01, 20-23; 02, 18-21; 03, 16-19.
- CZECHOWSKY, P. [1970] Berechnung eines Stromsystems in der polaren E-Region (Cálculo de un sistema de corrientes en la región E polar). *Z. für Geophysik*, Vol. 36, 647-650.
- DAVIS, R. M., SMITH, E. K. y ELLYETT, C. D. [1959] Sporadic E at VHF in the USA. *Proc. IRE*, Vol. 47, 762-769.
- EBU [enero de 1976] Ionospheric propagation in Europe in VHF television band I. EBU Technical Document TECH 3214, Vol. I et II. Centre technique, 32, Avenue Albert-Lancaster, 1180-Bruselas, Bélgica.
- EDWARDS, K.J., KERSLEY, L. y SHRUBSOLE, L.F. [1984] - Sporadic-E propagation at frequencies around 70 MHz. *Radio and electronic engineer*, Volumen 54 (5), 231-237.
- FERGUSON, J. A. y BOOKER, H. G. [1983] A scattering theory of VHF transequatorial propagation. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 45, 641-657.
- GIBSON-WILDE, B. C. [1969] Relation between the equatorial anomaly and transequatorial VHF radio propagation. *Radio Sci.*, Vol. 4, 797-802.
- GIRÁLDEZ, A. E. [1980] Equatorial belt sporadic-E statistics, LIARA C-30. Laboratorio Ionosférico de la Armada, República Argentina.
- HAGG, E.L., MULDREW, D.B. y WARREN, E.S. [1959] Spiral occurrence of sporadic-E. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 14, 345-347.
- HERON, M. L. y McNAMARA, L. F. [1979] Transequatorial VHF propagation through equatorial plasma bubbles. *Radio Sci.*, Vol. 14, 897-910.
- HUNSUCKER, R. D. [1975] Chatanika radar investigation of high latitude E-region ionization structure and dynamics. *Radio Sci.*, Vol. 10, 277-288.
- HUNSUCKER, R. D. [1979] Morphology and phenomenology of the high-latitude E- and F-regions, *Solar-Terrestrial Predictions Proceedings*, Vol. II Working Group Reports and Reviews, 543-561. Ed. R. F. Donnelly. US Dept. of Commerce, US Govt. Printing Office, Stock No. 003-017-00471-6, Washington, DC 20402.
- KERBLAĬ, T. S. y KISHCHA, P. V. [1985] (Calculation of the horizontal Es layer inhomogeneity and its effects on radiowave field attenuation. *Geomag. i Aeronom.*, 3, 495-497.
- KERBLAĬ, T. S., MINULLIN, R. G., MAKARENKO, S. F., NASYROV, A.M., NASYROV, G. N., NOSOVA, G. N. y PODOLSKAYA, T. Y. [1979] Ángulos acimutales de las ondas radioeléctricas reflejadas en la capa Es. «*Cuestiones relativas a los aspectos de propagación de las ondas radioeléctricas en latitudes altas y medianas*», 71-77 (en ruso), IZMIRAN, Academy of Sciences of the USSR, Moscú.
- KERBLAĬ, T. S., NOSOVA, G. N., MINULLIN, R. G. y KURGANOV, R. A. [1973] Periody fluktuatsii signalov s chastotoi 27.8 MGts, otrazhenykh ot intensivnykh sloev Es. (Los periodos de fluctuación de las señales de 27,8 MHz reflejadas por las capas Es intensas). Colección de artículos «*Cuestiones relativas a la propagación en ondas decamétricas*», IZMIRAN, Academy of Sciences of the USSR, Moscú.
- KURIKI, I., TANOHATA, K., SAKAMOTO, T. e IGUCHI, M. [1972] Propagational mode deduced from signal strength in the VHF band on the trans-equatorial path. *J. Radio Res. Labs. (Japón)*, Vol. 19, 175-195.
- LARI, G., TAGHOLM, L. F. y BELL, C. P. [1967] Research on VHF ionospheric propagation (Band I). EBU Technical Document TECH 3085-E. Centre technique, 32, Avenue Albert-Lancaster, 1180-Bruselas, Bélgica.

- LI ZANJU [1988] - On the geographic occurrence of ionospheric Sporadic-E in the Far East. Proceedings of International Symposium on Radiopropagation, Beijing, China (pp. 189-190).
- McCUE, C. G. y FYFE, D. F. [1965] Transequatorial propagation. Task Bridger introductory review. *Proc. IREE* (Australia), Vol. 26, 825-835.
- McNAMARA, L. F. [1973] Evening-type transequatorial propagation on Japan-Australia circuits. *Austral. J. Phys.*, Vol. 26, 521-543.
- McNAMARA, L. F., [1974a] Sporadic-E propagation modes on transequatorial circuits. Report, IPS-R25, Ionospheric Prediction Service, Sydney, Australia.
- McNAMARA, L. F. [1974b] Unusual night-time propagation modes on the Guam and Manila-N.W. Cape Circuits. Report, IPS-R27, Ionospheric Prediction Service, Sydney, Australia.
- MINULLIN, R.G. [1988] - Periodichnosti v variatsiyakh mediannykh znacheny predelnykh chastot sloya Es (Periodicities in the variations of the median values of Es layer limiting frequencies). *Geomagnetizm i aeronomiya*, Vol. 28, 969-975.
- MINULLIN, R.G., NAZARENKO, V.I. y SHERSTYUKOV, O.N. [1988] - Vysoty i koeffitsienty otrazheniya ot sloya Es (Heights and coefficients of reflection from the Es layer). *Ionosfernye issledovaniya*, Moscow, No. 44, 48-55.
- MIYA, K. y SASAKI, T. [1966] Characteristics of ionospheric Es propagation and calculation of Es signal strength. *Radio Sci.*, Vol. 1 (nueva serie), 99-108.
- MIYA, K., SHIMIZU, K. y KOJIMA, T. [1978] Oblique incidence sporadic-E propagation and its ionospheric attenuation. *Radio Sci.*, Vol. 13, 3, 559-570.
- MÖLLER, H. G. [1963] Impulsübertragungsversuche mit schräger Inzidenz und veränderlicher Frequenz über Entfernungswischen 1000 km und 2000 km. (Pruebas de emisión de impulsos con incidencia oblicua y a frecuencia variable, realizadas a una distancia comprendida entre 1000 y 2000 km). *Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen* Nr. 1149.
- MORO, E. S. M. [1984] Anomalous VHF propagation. *Contributions on Radiopropagation and Electromagnetic Compatibility 1982-1984* (en inglés). SECYT, Secretaría de Ciencia y Técnica, Buenos Aires, Argentina.
- NIELSON, D. L. y CROCHET, M. [1974] Ionospheric propagation of HF and VHF radio waves across the geomagnetic equator. *Rev. Geophys.*, Vol. 12, 688.
- OYINLOYE, J. [1988] - Ionospheric characteristics and radio propagation in the equatorial region. *Telecommunication Journal*, Volumen 55-5, (pp. 322-335).
- REINISCH, B. [1965] Die Bedeutung von Echos an der sporadischen E-Schicht bei Impulsfernübertragung über 1700 km (Athen-Breisach) (Importancia de los ecos de la capa E esporádica en las transmisiones por impulsos a 1700 km de distancia) (Atenas-Breisach). *AEÜ*, Vol. 19, 361-366.
- SAKSENA, R. C. [1979] Anomalous long distance TV reception at Delhi. *Indian J. Radio and Space Phys.*, Vol. 8, 351-356.
- STEVENS, E. E. [1968] The significance of sporadic E propagation in determining the MUF. *Ionospheric Radio Communications*, 289-293. Ed. K. Folkestad, Plenum Press, Nueva York, NY 10011, Estados Unidos de América.
- TANOHATA, K., KURIKI, I., IGUCHI, M., YAMASHITA, K. y SAKAMOTO, T. [1980] The results of long-term experiment of trans-equatorial VHF wave propagation. *Rev. Radio Res. Labs., Japan*, Vol. 26, 885-897.
- TAO, K., OCHI, F., YAMAOKA, M., WATANABE, S., WATANABE, C. y TANOHATA, K. [1970] Experimental results on VHF transequatorial propagation. *J. Radio Res. Labs. (Japón)*, Vol. 17, 83-101.
- VILLARD, D. G. Jr., STEIN, S. y YEH, K. C. [1957] Studies of transequatorial ionospheric propagation by the scatter-sounding method. *J. Geophys. Res.*, Vol. 62, 399-412.
- WAGNER, R. A., SNYDER, A. L. y AKASOFU, S. I. [1973] The structure of the polar ionosphere during exceptionally quiet periods. *Planet. and Space Sci.*, Vol. 21, 1911-1922.
- WILSON, C. R. HUNSUCKER, R. D. y ROMICK, G. J. [1976] An auroral infrasonic substorm investigation using Chatanika radar and other geophysical sensors. *Planet. and Space Sci.*, Vol. 24, 1155-1175.
- WINKLER, C. [1981] Radio wave guidance at VHF through equatorial plasma bubbles. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 43, 307-316.
- WRIGHT, J. W. y HUNSUCKER, R. D. [1983] Estimation of turbulent energy dissipation, winds and ionospheric structure from dynasonde measurements. *Radio Sci.*, Vol. 18, 988-994.

Documentos del CCIR

- [1974-78]: 6/251 (URSS).
 [1978-82]: 6/74 (GIT 6/8).
 [1982-86]: 6/231 (India).

BIBLIOGRAFÍA

- BAILEY, D. K. [1962] Ionospheric forward-scattering. *Monograph on Ionospheric Radio*, 189-199. Ed. W. J. G. Beynon, Elsevier, Londres, Reino Unido.
- COLLINS, C. y FORSYTHE, P. A. [1959] A bistatic radio investigation of auroral ionization. *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. 13, 315-345.
- DIEMINGER, W., ROSE, G. y WIDDEL, H. U. [1963] Probabilidad de interferencia entre canales comunes en las bandas I, II y III de ondas métricas en África, a causa de fenómenos de reflexión y dispersión en las capas E y F. *Boletín de Telecomunicaciones*, Vol. 30, 251-256.

 INFORME 251-5 *

 COMUNICACIONES MEDIANTE LA PROPAGACIÓN
 POR IMPULSOS METEÓRICOS

(Cuestión 41/6)

(1959-1963-1966-1978-1982-1986-1990)

1. Introducción

La dispersión debida a la ionización provocada por las estelas meteóricas proporciona un procedimiento de comunicación en ondas decamétricas y métricas. Se han explotado circuitos de telecomunicaciones bidireccionales de forma experimental entre 30 y 100 MHz, a distancias de hasta 1300 km. La comunicación aprovecha las ráfagas de propagación durante la aparición de estelas meteóricas y admite velocidades de datos de hasta 100 baudios como media sobre varios minutos.

Las modernas técnicas de telecomunicación, tales como el empleo de minicomputadores para efectuar operaciones interactivas entre los terminales transmisores y receptores han hecho relativamente más atractiva la comunicación mediante impulsos meteóricos para aplicaciones especiales en las que se pueden tolerar retardos posiblemente de unos pocos minutos. Entre estas aplicaciones se encuentra la transmisión intermitente de información entre un gran número de estaciones distantes, y una estación central, transmisiones hacia y desde terminales móviles y las transmisiones de canales de órdenes en los circuitos de longitud media, en onda corta.

El primer indicio de que los meteoros podían provocar la ionización en la atmósfera superior provino de la correlación observada entre las señales transatlánticas en ondas decamétricas y las precipitaciones de meteoros [Pickard, 1931]. En 1943 la observación continuada de estaciones remotas en ondas métricas en los Estados Unidos de América, mostró que se podían recibir, algunas veces, ráfagas de señales no distorsionadas a distancias de hasta 2200 km [Allen, 1948]. Estas ráfagas duran hasta un segundo con una variación diurna en la frecuencia de aparición, que está correlacionada con la incidencia conocida de los meteoros visibles y con las estimaciones teóricas.

Los experimentos subsiguientes utilizaron las técnicas tanto de retrodispersión como dispersión hacia adelante. A mediados de los años cincuenta, se obtuvo junto a estudios teóricos, una considerable cantidad de información sobre la propagación por impulsos meteóricos. Esta actividad culminó en un importante conjunto de artículos que incluye las descripciones de dos sistemas de telecomunicación experimentales [Forsyth y otros, 1957; Vincent y otros, 1957].

En la siguiente década se realizaron ulteriores trabajos que permitieron realizar mejores estimaciones del comportamiento probable de un sistema de comunicación por impulsos meteóricos. Los resúmenes de la situación técnica aparecieron en un libro [McKinley, 1961] y un extenso artículo de recopilación [Sugar, 1964]. Un sistema experimental de comunicación más perfeccionado que emplea la repetición automática de la transmisión cuando hay errores presentes (ARQ) y recepción por diversidad, proporciona una velocidad mínima de transmisión de 50 baudios sobre un circuito de 1000 km [Bartholomé y Vogt, 1968]. Kokjer y Roberts [1986] han descrito aplicaciones a redes de sistemas de comunicación por impulsos meteóricos. [Cannon y Reed, 1987], que también han estudiado la teoría y

 * Este Informe debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 3.
