

PROPAGACIÓN EN FRECUENCIAS POR ENCIMA DE LA MUF BÁSICA

(1997-1999)

1 Introducción

La Recomendación UIT-R P.373 define la MUF básica como «la frecuencia más elevada en que una onda radioeléctrica puede propagarse entre determinadas estaciones terminales, en un momento dado, mediante refracción ionosférica solamente». Esta Recomendación reconoce además que ello no determina necesariamente la máxima frecuencia de transmisión en esas circunstancias puesto que también presenta una definición para la MUF operacional. La MUF operacional es la frecuencia más elevada que permitiría un comportamiento aceptable en un instante determinado y bajo unas condiciones de funcionamiento especificadas.

Los diversos mecanismos que pueden contribuir a la propagación por encima de la MUF básica (denominada para mayor facilidad propagación ABM) se describen en el § 2. Sin embargo, esta situación se complica por dos razones principales, a saber:

- la definición de la MUF básica implica que ésta viene determinada por el modo de propagación extraordinario, sin tener en cuenta ninguna diferencia en la amplitud de la señal con respecto al modo ordinario;
- a efectos del UIT-R es necesario predecir las intensidades de la señal; tales predicciones se basan en mapas mensuales de los valores medianos de las características ionosféricas y los valores instantáneos de la MUF básica no serán conocidos. Además, la variabilidad día a día de las características ionosféricas puede dar lugar a que la frecuencia utilizada para las comunicaciones se encuentre algunos días por encima de la MUF básica y otros días por debajo.

Cabe señalar que los valores de la MUF básica instantánea sólo pueden determinarse mediante el examen de los ionogramas de incidencia oblicua medidos a lo largo del trayecto de propagación. Pueden obtenerse aproximaciones a estos valores utilizando unos sondeos de incidencia vertical correctamente emplazados a lo largo del círculo máximo y suponiendo homogeneidad de la ionosfera o gradientes horizontales específicos. Los sistemas de evaluación de canal en tiempo real no ofrecerán generalmente una indicación clara sobre la MUF básica.

2 Mecanismos de propagación responsables de la propagación en frecuencias por encima de la MUF básica

Los mecanismos de propagación y las características ionosféricas que pueden dar lugar a una propagación ABM son los siguientes:

2.1 Irregularidades ionosféricas

La ionosfera probablemente siempre presenta inhomogeneidades espaciales en todo el volumen responsable de la reflexión de la mayoría de los componentes que contribuyen a la potencia de la señal recibida. Estas inhomogeneidades pueden aparecer a cualquier altura y las que se encuentran por debajo de la altura de la reflexión de los rayos pueden ser muy significativas. En condiciones benignas, las fluctuaciones aleatorias espaciales de la densidad de electrones presentarán intensidades que varían con la posición y con el tiempo. Aparecen cambios importantes, por ejemplo, durante la presencia de perturbaciones ionosféricas progresivas. Se han realizado estudios teóricos utilizando modelos de ionosferas representativos de las condiciones promediadas en latitudes medias. En estos estudios se han considerado fluctuaciones ionosféricas de tipo turbulento con una función de correlación espacial de tipo Kolmogorov y un análisis de difracción realizado en términos de componentes estocásticos (fluctuantes) y coherentes ha llevado a la conclusión de que las intensidades de señal significativas debidas a este mecanismo surgen únicamente en frecuencias de hasta unos 60 kHz por encima de la MUF básica, lo cual supone una extensión en frecuencia más reducida (véase más adelante) que la que se observa normalmente en la práctica.

En otras condiciones, pueden aparecer irregularidades ionosféricas intensas pero contenidas en el espacio, como las que son responsables del fenómeno de dispersión en la capa F observado en los ionogramas de incidencia vertical. La dispersión en cualquier gama de frecuencias puede permitir la propagación por refracción o por dispersión en frecuencias por encima de la MUF básica en la región media de la ionosfera. Este mecanismo se observa en algunos ionogramas de incidencia oblicua en los que la máxima frecuencia observada viene determinada por una «ampliación» más allá de la frecuencia de unión de los rayos de ángulo bajo y alto. Cabe esperar que las irregularidades ionosféricas tengan densidades de electrones proporcionales al volumen ionosférico total, de manera que tales extensiones de frecuencia potenciarían la MUF básica.

2.2 Retrodispersión y dispersión lateral en la superficie

La propagación fuera del círculo máximo, en la que intervienen dos saltos por ionosfera y dispersión intermedia en la superficie de la Tierra, puede permitir la propagación en frecuencias superiores a la MUF básica de círculo máximo. Estas señales dispersas presentan a menudo índices de desvanecimientos superiores a 1/s y se reciben con ángulos de llegada acimutal variables. Las intensidades de la señal disminuyen gradualmente a unos valores de 25 a 40 dB inferiores a los del modo de círculo máximo a medida que los trayectos de propagación se desvían progresivamente de dicho círculo máximo. Los coeficientes de dispersión de la superficie de la Tierra pueden ser muy variables dependiendo de la naturaleza de la superficie y del ángulo de elevación. El coeficiente de dispersión en la superficie es función del acimut y de la diferencia de acimutes entre los rayos descendente y ascendente, de la presencia de mar o tierra, de las irregularidades del terreno, de los ángulos de elevación y también del enfoque debido a la curvatura ionosférica para ángulos de incidencia rasantes. Ha habido observaciones controvertidas con respecto a las intensidades de las señales dispersas por el mar en comparación con las señales dispersas por la tierra. Las intensidades de las señales con retrodispersión y dispersión lateral a frecuencias por encima de la MUF básica en el trayecto de círculo máximo dependerán de sus respectivas longitudes del trayecto y variarán en proporción a sus correspondientes MUF básicas. La pérdida en el trayecto más baja aparecerá normalmente para el haz de intersección de las distancias de salto en torno al transmisor y al receptor debido al enfoque de la distancia de salto. Sin embargo, en la práctica las directividades de las antenas de transmisión y recepción pueden tener influencia sobre la marcación de la máxima intensidad de la señal recibida. Se ha sugerido que éste es el mecanismo dominante responsable de la propagación ABM para trayectos más cortos de un solo salto de hasta 4 000 km de longitud.

2.3 Retrodispersión en modo de orden superior

Como una ampliación del caso de retrodispersión en la superficie con dos saltos, puede haber una retrodispersión desde distancias superiores, lo que supone propagación por múltiples saltos. Este fenómeno probablemente es más importante cuando existen unos gradientes de densidad electrónica horizontal en la ionosfera significativos.

2.4 Modos de propagación por conducto

En algunos casos, una radiación con ángulo bajo puede penetrar en conductos formados por perfiles de altura de densidad electrónica particular. En tales casos, puede ser posible la propagación a larga distancia y a mayores frecuencias que la MUF básica de círculo máximo. Este mecanismo, combinado, por ejemplo, con la retrodispersión y la dispersión lateral en la superficie fuera del círculo máximo, puede contribuir a que se produzca una propagación ABM.

2.5 Propagación cordal por saltos

Las inclinaciones en la ionosfera, fundamentalmente a ambos lados del ecuador magnético pero también en las depresiones subaurorales, pueden permitir trayectos de rayos que van de una refracción en una región a otra, sin que se produzca una reflexión en el suelo intermedia. Se ha observado una propagación transecuatorial de este tipo hasta frecuencias bastante elevadas en la gama de ondas métricas, acompañada a menudo por una señal en modo disperso asociada con la presencia de irregularidades ionosféricas. Tales señales, especialmente cuando se combinan con la retrodispersión y la dispersión lateral en la superficie, pueden dar lugar a una propagación muy significativa por encima de la MUF básica.

2.6 Dispersión ionosférica directa

La energía de la señal puede dispersarse desde cualquiera de las regiones ionosféricas, tanto a lo largo de un trayecto de círculo máximo como en otras orientaciones. En latitudes elevadas, aurorales y ecuatoriales los fuertes gradientes de densidad de ionización pueden permitir una dispersión significativa en la región F, pero cuando los gradientes no son tan intensos probablemente la dispersión por la región E es más importante y, en este caso, se limitaría a distancias de unos 2 000 km. El Informe 260-2 del ex CCIR (1974) (oficialmente suprimido) considera con detalle el modo de dispersión ionosférico. Dicho Informe indica que, al menos para frecuencias por encima de 30 MHz, la intensidad de la señal varía en razón inversa de la potencia $7,5$ de la frecuencia.

En varios trabajos se ha informado de la existencia de dispersión lateral ionosférica procedente de irregularidades en la región F situadas en las regiones aurorales. En algunos casos, las señales propagadas a lo largo de círculos no máximos se atribuyen a la dispersión directa procedente de irregularidades ionosféricas en ausencia de un tipo ordinario de reflexión ionosférica. En otros casos, se considera el resultado de modos multisalto generándose las señales dispersas más intensas por las irregularidades ionosféricas y haciendo intervenir un mecanismo de enfoque. En los trayectos transecuatoriales se han observado desviaciones acimutales de hasta $\pm 50^\circ$ debidas a la dispersión directa causada por las inhomogeneidades de la capa F cerca del ecuador magnético de la Tierra. Las señales dispersas dominantes se han atribuido a las irregularidades débiles alineadas con el campo o a la reflexión especular en gradientes horizontales de la densidad electrónica.

2.7 Propagación por la capa E esporádica

La aparición de ionización en la capa E esporádica puede permitir la propagación, por reflexión parcial o por dispersión, a frecuencias muy elevadas. Puede que este modo de propagación no sea reconocido y, en cualquier caso, no se incluye en muchos procedimientos de predicción. Por consiguiente, puede considerarse como otro fenómeno que contribuye a la propagación por encima de la MUF básica esperada, para unas longitudes de trayecto de hasta 2 000 km.

2.8 Dispersión auroral

Las irregularidades alineadas con el campo en las regiones aurales, asociadas con las perturbaciones geomagnéticas, dan lugar a un tipo especial de capa E esporádica. En los trayectos de propagación próximos a las regiones aurales tales irregularidades en la región E pueden provocar una retrodispersión directa de las señales a frecuencias de hasta 100 MHz o superiores. Estas componentes de la señal se han modelado en términos de dispersión débil y reflexión crítica. Las reflexiones causadas por dichas irregularidades obedecen a unas condiciones particulares de especularidad. La función de dispersión de volumen se ha aproximado mediante una función de frecuencia exponencial. Aunque se ha observado propagación por saltos múltiples, el efecto estará limitado generalmente a longitudes de trayecto inferiores a 2 000 km.

2.9 Dispersión por meteoros

En la Recomendación UIT-R P.843 se considera la propagación mediante reflexión o dispersión por ionización meteórica transitoria. Si se dan las circunstancias geométricas adecuadas, pueden aparecer fenómenos de propagación de corta duración en frecuencias elevadas de la gama de ondas métricas para longitudes de trayecto inferiores a 2 000 km.

3 Datos de medición recopilados y necesarios

La mayoría de los datos de medición limitados actuales incluyen ejemplos de variaciones de la intensidad de la señal con la frecuencia, o con el tiempo al variar la MUF básica, sobre trayectos específicos. En Hagn y otros [1993] se describen las mediciones realizadas en un conjunto de trayectos de longitudes comprendidas entre 400 km y 2 580 km.

Los datos de medición existentes, junto con la presente información, no son suficientes para el establecimiento de modelos completos que incluyan la dependencia con la longitud del trayecto, el emplazamiento, la hora, etc.

Se necesita urgentemente información sobre nuevos tipos de mediciones. Es necesario, especialmente, establecer las dependencias y las pautas de cambio en los mecanismos de propagación en las diferentes regiones geográficas según la hora del día, la estación, la época solar y el grado de perturbación ionosférica.

4 Modelos estadísticos de la intensidad de señal en frecuencias por encima de la MUF básica

Los bancos de datos del UIT-R (Recomendación UIT-R P.845) incluyen observaciones de la intensidad de señal en frecuencias superiores a la MUF básica, aunque se desconocen los valores de la MUF básica correspondientes a cada medición y no han podido determinarse sin mediciones adicionales especiales. Idealmente, los sondeos oblicuos simultáneos deben realizarse en los trayectos de propagación correspondientes, pero generalmente ello no ha sido posible. En consecuencia, hay que considerar los resultados desde un punto de vista estadístico.

Cabe señalar que la variación día a día en un mes de la MUF básica a una hora determinada tendrá una gama interdecilos del 30% al 40% del valor mediano de la MUF básica. Las frecuencias utilizadas para las comunicaciones en esta gama serán algunos días inferiores a la MUF básica y otros días, superiores. Sin embargo, los modelos de predicción a largo plazo deben tomar como punto de partida el valor mediano mensual de la MUF básica. Por consiguiente, para establecer modelos de estas circunstancias debe combinarse la intensidad de la señal para un trayecto con refracción a la frecuencia inmediatamente por debajo del valor mediano mensual de la MUF básica con las contribuciones de la propagación ABM descrita anteriormente y a continuación incluir los valores estadísticos de la variabilidad día a día. Suponiendo que en una ocasión determinada existe un mecanismo de propagación que da lugar a señales débiles por encima de la MUF básica, los cambios diarios en la MUF básica significan que las diversas fórmulas discutidas más adelante para las pérdidas por encima de la MUF en términos del valor mediano mensual de la MUF básica deben incluir un elemento sin especificar para tener en cuenta el hecho de que algunos días la MUF básica se encuentra por debajo del valor mediano mensual.

Además de la variabilidad día a día, la ionosfera también experimenta cambios de duración menor de una hora que pueden dar lugar a que la propagación se mantenga por métodos convencionales durante parte de una hora y en propagación ABM en el resto de la hora. Esa situación es la que se presenta particularmente en el caso en que aparezcan perturbaciones ionosféricas progresivas. Pueden aparecer enfoques y desvanecimientos por salto de distancia asociados con la interferencia entre los rayos con ángulo bajo y alto, pero todos estos efectos deben tratarse de forma estadística utilizando las estimaciones del valor mediano horario de la MUF básica.

Este método adoptado dará una estimación de la probabilidad de que aparezca un determinado valor de la intensidad de la señal y ello puede ser adecuado para evaluar la compatibilidad. Sin embargo, puede que no sea apropiado para predecir la calidad de funcionamiento del circuito cuando la función de transferencia de canal en términos de tasa de desvanecimiento, la dispersión del retardo y la dispersión y deriva de la frecuencia pueden ser distintas para frecuencias por debajo y por encima de la MUF básica.

5 Definición de pérdidas ABM

La reducción de la intensidad de la señal en frecuencias por encima del valor mediano mensual de la MUF básica del trayecto, con respecto a la intensidad en un trayecto con refracción a una frecuencia inmediatamente por debajo de la MUF básica, se denomina pérdidas ABM.

6 Fórmulas existentes para las pérdidas

Las diversas fórmulas propuestas para las pérdidas ABM se describen en Hagn y otros [1993].

6.1 El modelo Phillips-Abel

Este modelo [Phillips, 1963], basado en mediciones efectuadas en Estados Unidos de América, es el único modelo actualmente disponible que puede considerarse para relacionar los valores instantáneos de la MUF básica, aunque se supone normalmente que se aplica en términos del valor mediano mensual de la MUF básica. El modelo supone que la ionosfera se compone de un cierto número de tramos de ionización dentro de la región de reflexión, cada uno de los cuales provocaría un trayecto de MUF básica distinto. Se supone que estas MUF presentan una distribución espacial normal con una desviación típica σ . Phillips indicó que para una longitud de trayecto de unos 3 000 km el valor de σ está comprendido entre 1 y 4 MHz, según el grado de perturbación ionosférica. Posteriores mediciones llevadas a cabo por Wheeler y Hagn han dado valores de σ comprendidos entre 0,9 y 3 MHz. La potencia de la señal recibida se expresa en términos de la probabilidad espacial de la reflexión de onda.

En este modelo, las pérdidas ABM, L_m (dB), vienen dadas por la expresión:

$$L_m = 10 \log p$$

siendo:

$$p = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x/a} \exp(-x/2\sigma) d(x/a) \quad \text{y } x = f - f_b$$

Obsérvese en particular que esta formulación indica que L_m depende de la diferencia entre la frecuencia de funcionamiento, f , y la MUF básica, f_b .

Las versiones modificadas de la formulación Phillips-Abel se aplican en los actuales procedimientos de predicción de la propagación en ondas decamétricas de los Estados Unidos de América IONCAP [Teters y otros, 1983] y VOACAP [DeBlasio y otros, 1993]. Las pérdidas ABM se determinan por separado para cada modo de propagación activo utilizando las fórmulas anteriores en términos de los correspondientes valores medianos mensuales de las MUF básicas y suponiendo que el parámetro de variabilidad espacial σ es el mismo que la desviación típica de las MUF básicas diarias.

6.2 El modelo Suessmann

El modelo de Suessmann [1990] se basa en una dispersión en la superficie de dos saltos y el análisis de los datos de medición contenidos en el banco de datos D1 de la Recomendación UIT-R P.845, lo que da lugar a la siguiente expresión para pérdidas ABM en trayectos de hasta 4 000 km:

$$L_m = 20 + 40 [M(d) + 1 - f_b/f] \quad \text{dB}$$

siendo $M(d)$ el factor de MUF para una longitud de trayecto d .

6.3 El modelo Hunt

Utilizando análisis distintos aplicados al banco de datos D1, Hunt [1991] formuló la siguiente expresión para pérdidas ABM en trayectos de longitudes de hasta 9 000 km:

$$L_m = 36 (f/f_b - 1)^2 \quad \text{dB}$$

con un valor máximo de 62 dB.

6.4 El modelo Gibson-Bradley

Este modelo [Gibson y Bradley, 1991 y Gibson, 1993], a diferencia de otros modelos disponibles, se basa en los cálculos teóricos en términos de una retrodispersión y dispersión lateral en la superficie de dos saltos, en vez de realizar comparaciones con los datos medidos. Mediante cálculos se determina una expresión para la sección transversal de la dispersión en ondas decamétricas en la superficie de la Tierra por área unitaria en función de los ángulos de elevación de las ondas incidente y dispersa y del ángulo de dispersión acimutal. La potencia dispersa se integra para todos los elementos de la superficie en los que la frecuencia de funcionamiento es inferior al valor más bajo de las MUF básicas de los dos trayectos entre el transmisor y el elemento de dispersión y entre el receptor y el elemento de dispersión, y se expresa con referencia a la potencia a una frecuencia inmediatamente por debajo de la MUF básica de círculo máximo. La dependencia de la sección transversal de dispersión sobre las diferentes superficies de dispersión, los procesos de segundo orden y los efectos de las distintas ganancias de antena son todos ellos factores que pueden tenerse en cuenta. Si bien con la utilización de los valores medianos mensuales de la MUF básica en las diversas ecuaciones se evalúan los valores medianos mensuales de las pérdidas ABM, con el empleo alternativo de las MUF básicas de decilo superior o inferior en la variabilidad día a día se obtienen las correspondientes pérdidas ABM de decilo.

Para un trayecto de 2 000 km con un valor de $f/f_b = 1,4$ el modelo Gibson-Bradley da un valor de $L_m = 80$ dB, mientras que con el modelo Suessmann se obtiene un valor de 53 dB para ese mismo parámetro. Las diferencias de este orden deben resolverse utilizando instrumentos y equipos de medición con la adecuada gama dinámica.

6.5 El modelo de la Recomendación UIT-R P.533

Para distancias de hasta 7 000 km, la Recomendación UIT-R P.533 predice el valor de L_m para cada uno de los modos de propagación considerados antes de llevar a cabo un sumatorio para obtener la intensidad de campo global. En dicha Recomendación se indican los criterios para considerar cada modo potencial y para estos modos el valor de L_m viene dado por:

$$L_m = 0 \quad \text{dB}$$

cuando $f \leq f_b$ para el modo considerado.

Para los modos E (hasta una distancia máxima de 4 000 km) y cuando $f > f_b$ (adaptado de Wheeler [1966]):

$$L_m = 130 \left[\frac{f}{f_b} - 1 \right]^2 \quad \text{dB, o 81 dB tomándose entre ambos valores el menor.}$$

Para modos F2 (hasta una distancia de 7 000 km), y cuando $f > f_b$:

$$L_m = 36 \left[\frac{f}{f_b} - 1 \right]^{1/2} \quad \text{dB, o 62 dB tomándose entre ambos valores el menor.}$$

El modelo no incluye específicamente las pérdidas ABM para distancias superiores a 9 000 km.

Obsérvese que, en este caso, de nuevo L_m depende de la relación entre la frecuencia de funcionamiento, f , y la MUF básica, f_b y no de la diferencia de frecuencia.

7 Factores que deben considerarse para ulterior desarrollo de fórmulas sobre las pérdidas ABM

7.1 Modelo magnetoiónico que debe suponerse para la determinación de la MUF básica

Las Recomendaciones UIT-R P.533 y UIT-R P.1240 utilizan el valor mediano mensual previsto en el modo de onda o para determinar la MUF básica de la región E. En distancias muy cortas se da la MUF básica de la región F2 para la onda x; en el caso de trayectos de longitudes de 4 000 km y superiores se indica la MUF básica para la onda o y en distancias intermedias se aplica una MUF básica de modo compuesto. (La relación entre las MUF básicas para la onda o y la onda x dependen de la latitud magnética y de la orientación y longitud del trayecto.) Pueden representar las mejores referencias de frecuencias disponibles para las fórmulas de las pérdidas ABM, pero esta hipótesis debe confirmarse.

7.2 Referencia de amplitud

Se supone unas pérdidas ABM de 0 dB a frecuencias inferiores al valor mediano mensual de la MUF básica para el modo correspondiente. Por consiguiente, según la Recomendación UIT-R P.533 parece adecuado predecir de forma empírica las pérdidas ABM con respecto a la intensidad de campo o a la intensidad de señal previstas para el valor mediano mensual de la MUF básica y suponer que el resto de pérdidas de transmisión y factores de ganancia, tales como por ejemplo los relativos a la absorción ionosférica y al comportamiento de la antena, son insensibles a la frecuencia. Esta referencia de amplitud parece apropiada para las formulaciones basadas en los conceptos actualmente utilizados, pero puede que sea preferible emplear otras referencias si se formulan modelos de maneras distintas. Por ejemplo, la amplitud de la señal disminuye cuando cesa el soporte del modo de onda o a medida que aumenta la frecuencia y se mantiene la propagación mediante la onda x. Podría ser procedente tomar como referencia de amplitud la que se produce a una frecuencia algo inferior a la MUF básica de onda o para la cual no hay enfoque de distancia de salto.

7.3 Factor de proporcionalidad de la frecuencia

Como se ha indicado anteriormente, el procedimiento recomendado utiliza la relación entre la MUF básica y la frecuencia de funcionamiento mientras que el método Phillips-Abel utiliza la diferencia de frecuencias. Los diversos mecanismos descritos en el § 2 parecen depender de la relación entre las frecuencias o variarán con la frecuencia absoluta independientemente de la MUF básica para el trayecto. Por consiguiente, para ondas decamétricas parece conveniente basar la formulación compuesta en la relación entre frecuencias. Si se establecen métodos para la evaluación de la compatibilidad en ondas métricas puede que sea más correcto utilizar una formulación que no incluya la MUF básica para el trayecto.

7.4 Dependencia con la longitud del trayecto

Los actuales métodos no incluyen una dependencia con respecto a la longitud del trayecto. Sin embargo parece probable que predominen distintos mecanismos para longitudes de trayecto inferiores a 2 000 km, donde los modos de la región E son importantes, en comparación con el caso para trayectos de mayor longitud, en que la relación entre la MUF del trayecto y la MUF de 4 000 km puede ser importante.

7.5 Márgenes para la ganancia de antena de transmisión y recepción

La mayoría de los mecanismos descritos en el § 2 adquieren más importancia para ángulos de elevación bajos. En consecuencia, la propagación por encima de la MUF básica puede disminuir en importancia cuando se utilizan antenas con ángulos de elevación altos. Este efecto puede incluirse de forma general modificando la tendencia con la distancia de las pérdidas ABM para longitudes de trayecto cortas, suponiendo que se utilicen las antenas adecuadas para el trayecto deseado.

Además del mecanismo debido a las irregularidades ionosféricas, por el cual la extensión de la relación de frecuencias puede ser limitada, y el mecanismo debido a la dispersión ionosférica directa, es probable que la mayoría de los fenómenos considerados impliquen propagación fuera del círculo máximo. Se necesitan más estudios para determinar si debe utilizarse la ganancia de antena a lo largo del círculo máximo, la máxima ganancia de antena o alguna función de la ganancia de antena.

8 Calidad de las señales ABM para consideraciones de fiabilidad y compatibilidad

Algunos de los mecanismos descritos en el § 2 no exigen la existencia de una irregularidad ionosférica significativa pero dependen de la propagación normal junto con la retrodispersión y la dispersión lateral en la superficie. En estos casos, es probable que la función transferencia de canal sea bastante similar a la de la propagación en frecuencias por debajo de la MUF básica, aunque la presencia de múltiples trayectos de propagación tenderá siempre a crear una función de transferencia «difusa».

Por otro lado, ciertos mecanismos particulares pueden ser muy significativos en algunos casos, por ejemplo en latitudes ecuatoriales o elevadas y en condiciones con perturbaciones magnéticas. En estos casos, la función de transferencia puede contener fuertes dispersiones en el tiempo de propagación y en la frecuencia con variaciones rápidas. De ser así, cabe esperar una degradación en la calidad de la señal vocal, especialmente de las señales musicales, particularmente en el caso de señales con modulación en doble banda lateral y detección por envolvente. La calidad de funcionamiento de los sistemas con modulación digital dependerá del diseño de la modulación y de la velocidad de señalización.

Por consiguiente, dependiendo de la sensibilidad del método de modulación a estos efectos, puede ser conveniente formular la determinación de la máxima frecuencia para la planificación de un servicio deseado en la MUF básica mientras que la evaluación de la interferencia a efectos de compatibilidad pueden implicar una frecuencia más elevada que incluya la propagación ABM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DeBLASIO, L. M., LANE, G. y RHOADS, F. J. [1993] Model enhancements: IONCAP and VOACAP methodology comparisons. p. 4A-6-1 to 4A-6-9. *Proc. 7th International Ionospheric Effects Symposium*, Alexandria, VA, Estados Unidos de América.
- GIBSON, A. J. [1993] HF propagation at frequencies above the MUF by ground sidescatter, Part 1 (Theory). NRPP Research Note 137, Rutherford Appleton Laboratory, Reino Unido.
- GIBSON, A. J. y BRADLEY, P. A. [1991] A new formulation for above the MUF loss. IEE Conf. Publ. No. 339, p. 122-125. *Proc. 6th International Conference on Antennas and Propagation*.
- HAGN, G. H., GIBSON, A. J. y BRADLEY, P. A. [mayo de 1993] Propagation on frequencies above the basic MUF. *Proc. 7th International Ionospheric Effects Symposium*, Alexandria, VA, Estados Unidos de América.
- HUNT, K. [1991] Above the MUF loss for E and F2-modes. Ex CCIR, GIT 6/1, Doc. 392.
- PHILLIPS, M. L. [1963] Auxiliary procedures used in theoretical evaluation of HF backscatter observations and other communications problems. External Tech. Memo. E14, p. 20-23. *ITT Electro-Physics Labs.*, Hyattsville, MD, Estados Unidos de América.
- SUESSMANN, P. [1990] Propuesta de una revisión del cálculo de las pérdidas por encima de la MUF, Informe 894. Ex CCIR, GIT 6/1. Doc. 351(Rev.1).
- TETERS, L. R., LLOYD, J. L., HAYDON, G. W. y LUCAS, D. L. [1983] Estimating the performance of telecommunications systems using the ionospheric transmission channel (IONCAP user's manual). NTIA Report 83-127, US Dept. of Commerce, Boulder, CO, Estados Unidos de América.
- WHEELER, J. L. [1966] Transmission loss for ionospheric propagation above the standard MUF. *Radio Sci.*, Vol. 1, **11**, p. 1303-1308.
-