

RECOMENDACIÓN UIT-R BS.498-2*

**Transmodulación ionosférica en las bandas de radiodifusión
de ondas kilométricas y hectométricas**

(1974-1978-1990)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

que una radiación excesiva hacia la ionosfera puede dar lugar a transmodulación ionosférica y, en consecuencia, a interferencias perjudiciales,

recomienda

que la radiación máxima admisible con cualquier ángulo de elevación sea tal que la molestia debida a la transmodulación no exceda de la que se admite para la interferencia cocanal (véase la Recomendación UIT-R BS.560).

ANEXO 1**

Los efectos de la transmodulación ionosférica en las bandas de ondas kilométricas y hectométricas pueden adquirir gravedad debido al continuo aumento de las potencias de emisión.

1 Sobre esta cuestión se han efectuado experiencias, en el marco de la UER, en varios países, especialmente en el Reino Unido y en la República Federal de Alemania y en la República Popular de China utilizando emisiones clásicas de modulación de amplitud y doble banda lateral. Estas experiencias permiten extraer las siguientes conclusiones:

1.1 El porcentaje de transmodulación aumenta de modo sensiblemente lineal con la potencia del transmisor interferente y aumenta también con su profundidad de modulación.

NOTA – El porcentaje de transmodulación es el porcentaje en que la portadora del transmisor deseado resulta modulada por las frecuencias moduladoras del transmisor interferente.

* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2002 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

** El presente Anexo tiene carácter informativo.

1.2 Esta transmodulación depende sobre todo de la potencia radiada por el transmisor interferente en la dirección del punto de reflexión en la ionosfera de la onda deseada.

Los porcentajes de transmodulación inferiores al 10% son directamente proporcionales a la potencia; por tanto, un aumento de 3 dB en la potencia del transmisor interferente incrementa los niveles de transmodulación en 6 dB. El porcentaje de transmodulación es asimismo directamente proporcional a la profundidad de modulación del transmisor interferente.

1.3 El porcentaje de transmodulación es tanto menor cuanto mayor es la frecuencia de modulación del transmisor interferente. Pruebas de laboratorio han demostrado que el efecto subjetivo de la transmodulación puede compararse al de la interferencia cocanal. Para producir un grado subjetivo determinado de pérdida de calidad, la interferencia resultante de la transmodulación ionosférica requiere una relación señal/interferencia 6 dB menor que la interferencia cocanal, siempre y cuando la transmodulación se refiera a una frecuencia moduladora de 300 Hz.

1.4 Los estudios de transmodulación ionosférica se resumen en la Recomendación UIT-R P.532.

2 La Fig. 1 muestra los porcentajes de transmodulación medidos en numerosos experimentos. Cada medición se ha normalizado al valor que se habría observado si la señal interferente se hubiese radiado con una antena vertical corta y una potencia de portadora de 100 kW modulada en amplitud al 80% por una señal de 300 Hz.

La Fig. 1 comprende una curva semiempírica que da el porcentaje máximo de transmodulación, promediado en un corto periodo, que podría observarse si la señal deseada atravesara la región de la ionosfera más intensamente iluminada por la radiación interferente. Dicha Figura muestra que la transmodulación alcanza su segundo máximo cuando la frecuencia del transmisor interferente se acerca a la frecuencia giromagnética. En el mapa de la Fig. 5 se indican los valores de la frecuencia giromagnética en las diversas partes del mundo.

3 Los efectos de transmodulación deben tenerse en cuenta no sólo para la recepción por onda ionosférica, sino también para la recepción por onda de superficie en el límite de la zona de servicio y por la noche, cuando la onda ionosférica no es ya totalmente despreciable. El efecto de transmodulación se reduce, sin embargo, aproximadamente en la relación de las amplitudes de las ondas deseadas, de superficie e ionosférica, en el punto de recepción.

4 Se han calculado los porcentajes de transmodulación ionosférica en el caso de las ondas kilométricas y hectométricas. Se ha evaluado la influencia de la potencia de los transmisores deseado e interferente. Se han comparado los resultados teóricos y prácticos.

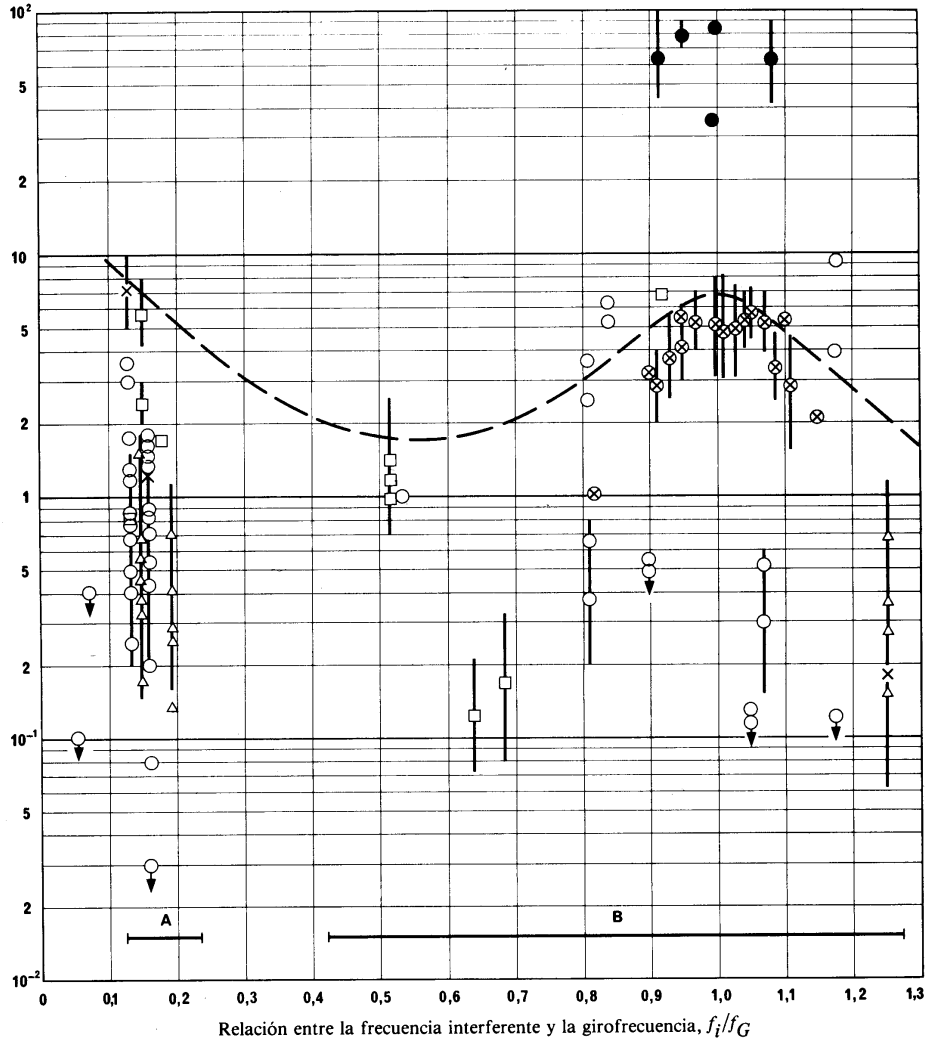


FIGURA 1 - Mediciones de transmodulación ionosférica en latitudes medias

- : Mediciones anteriores a 1945
- : Mediciones realizadas en Cambridge y Birmingham
- : Mediciones realizadas en Italia
- ⊗ : Mediciones realizadas en Australia
- △ : Mediciones posteriores a 1945 realizadas en Europa occidental
- × : Otras mediciones
- — — : Limite superior semiempírico
- A : banda 5 (ondas kilométricas)
- B : banda 6 (ondas hectométricas)

Nota. - Las líneas verticales representan la gama de valores medianos medidos durante una o varias noches. Las flechas descendentes indican la existencia de valores medidos inferiores al valor indicado.

5 Conclusiones preliminares

Pueden darse ejemplos de los niveles de flujo de potencia, o de la potencia del transmisor en función del ángulo de elevación, que pueden causar interferencia a las transmisiones deseadas.

Para ello, se ha fijado en primer lugar un valor admisible del porcentaje de transmodulación. Según la Recomendación UIT-R BS.560, y la Recomendación UIT-R P.1147, es aceptable una relación de protección en radiofrecuencia de unos 30 dB para el 10% del tiempo en el caso de una señal interferente fluctuante. Haciendo caso omiso del efecto mencionado en el § 1.3, se tendrá el mismo efecto perturbador para un porcentaje de transmodulación del 3% durante el 10% del tiempo. Se ha demostrado que este porcentaje de transmodulación puede resultar, en la parte superior de la banda 6 (ondas hectométricas) de radiodifusión, de una densidad de flujo máxima en la región E de $2 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ($-57 \text{ dB}(\text{W}/\text{m}^2)$) aproximadamente, es decir, de un campo máximo de 27 mV/m (89 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)).

Suponiendo una altura de 100 km para la capa E, puede calcularse la potencia radiada por diversos tipos de antenas que producirían esta densidad de flujo en la región E. Las antenas transmisoras verticales normalmente utilizadas, tienen un diagrama de radiación vertical que está en función bien definida de su altura (expresada en fracciones de la longitud de onda, λ). En particular, la radiación de tales antenas es nula en un ángulo de elevación de 90° . El Cuadro 1 indica, para diversas antenas verticales de diferente altura, las potencias de transmisión correspondientes a las condiciones mencionadas.

CUADRO 1

Altura de la antena vertical	$< 0,25 \lambda$	$0,25 \lambda$	$0,5 \lambda$	$0,55 \lambda$	$0,64 \lambda$	$0,64 \lambda^{(1)}$
Potencia de la portadora del transmisor (kW)	320	340	560	670	370	840

⁽¹⁾ Con compensación del primer lóbulo lateral.

También se puede calcular la relación entre la potencia radiada y el ángulo de elevación necesario para producir el mismo flujo de potencia, desde 0° (radiación horizontal) hasta 90° (radiación vertical). Los resultados se indican en el Cuadro 2.

Los Cuadros 1 y 2 sólo contienen valores aproximados, pues la teoría muestra que en la transmodulación ionosférica pueden influir varios factores, como las frecuencias de los transmisores deseado e interferente (y en particular su valor con relación a la girofrecuencia) y la polarización de las ondas emitidas.

Las potencias indicadas en los Cuadros 1 y 2 son ejemplos deducidos de un pequeño número de mediciones realizadas en una frecuencia próxima al límite superior de la banda 6 (ondas hectométricas) sin tener en cuenta la variación de la transmodulación con la frecuencia portadora interferente. No comprenden tampoco el efecto de la disminución de la transmodulación para las audiofrecuencias elevadas, que permite aumentar en 3 dB las potencias interferentes.

CUADRO 2

Ángulo de elevación	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
p.r.a.v. (dB (1 kW)) o f.c.m. (dB (300 V)) ⁽¹⁾	39,5	32	27,5	24,3	22,5	22	21,5	20,2	19,3	18,7	18,5
p.r.a.v. (kW)	9000	1600	570	230	190	160	140	105	85	75	70

⁽¹⁾ p.r.a.v.: Potencia radiada aparente referida a una antena vertical corta; } Véase también la Recomendación UIT-R BS.561
 f.c.m.: Fuerza cimomotriz.

Merece señalar que la transmodulación ionosférica ha perturbado también a servicios distintos del de radiodifusión.

Se han comparado los resultados de muchas mediciones de transmodulación ionosférica, y la Fig. 1 muestra que una potencia de 100 kW radiada por una antena vertical corta en la parte inferior de la banda 6 (ondas hectométricas) produce una transmodulación cuyo porcentaje puede exceder del 2% durante el 50% del tiempo. Puede demostrarse que esto corresponde a una transmodulación del 3% sobrepasada durante el 10% del tiempo. Por tanto, la potencia de 100 kW puede compararse directamente con la de 320 kW del Cuadro 1. La mayor potencia indicada en este Cuadro se debe a que las mediciones de que se deduce dan una transmodulación inferior a los valores estimados en el caso más desfavorable (véase la curva de la Fig. 1).

La Fig. 1 muestra, asimismo, que la transmodulación causada por transmisores interferentes en la banda 5 (ondas kilométricas) o en frecuencias próximas a la giromagnética, puede ser 10 dB superior a los niveles correspondientes a frecuencias de la parte inferior de la banda 6 (ondas hectométricas). Una reducción de 5 dB de la potencia del transmisor interferente disminuye el nivel de transmodulación en 10 dB. Habida cuenta del efecto de la frecuencia de modulación, se llega a la conclusión de que, según la frecuencia interferente en las bandas 5 y 6 (ondas kilométricas o hectométricas), las potencias comprendidas entre los valores de los Cuadros 1 y 2 y valores inferiores en 7 dB pueden, en el caso más desfavorable, interferir en un servicio por onda ionosférica en forma comparable a la interferencia cocanal con una relación de protección de 30 dB.

Si en vez de proteger la recepción por onda ionosférica contra la transmodulación ionosférica se protege la recepción por onda de superficie, pueden radiarse potencias interferentes algo mayores, porque éstas influyen solamente en la componente ionosférica de la señal recibida. Si el límite de la zona de servicio por onda de superficie se define por la línea en la que la intensidad de campo de dicha onda excede de la intensidad de campo mediana de la onda ionosférica en 10 dB, la transmodulación mediana de la señal resultante será inferior a 14 dB a la transmodulación mediana de la onda ionosférica. Así pues, las potencias interferentes pueden superar a las potencias correspondientes cuando se trata de proteger la onda ionosférica.

6 Utilización práctica de las conclusiones

La UER ha estudiado las consecuencias, para la planificación en las bandas 5 (ondas kilométricas) y 6 (ondas hectométricas) de las conclusiones preliminares resumidas en el § 5 del presente Anexo. El problema más importante es el de establecer límites para la radiación máxima en función del ángulo de elevación y del tipo de antena, a fin de mantener la interferencia por transmodulación ionosférica, inferior a cierto valor. Las conclusiones que pueden extraerse de dichos estudios se indican a continuación.

La perturbación causada por la transmodulación no debe exceder de la debida a la interferencia cocanal con una relación de protección de 30 dB. Sin embargo, la transmodulación, contrariamente a la interferencia cocanal, disminuye al aumentar la frecuencia de modulación. Es necesario, pues, realizar pruebas subjetivas para determinar la relación entre los dos efectos. Ya se ha demostrado que el porcentaje de transmodulación puede ser del 6,3% cuando el transmisor interferente está modulado al 80% por una señal de 300 Hz. Se recomienda considerar este valor como el límite máximo aceptable de transmodulación.

Los resultados de la evaluación subjetiva del grado de molestia por transmodulación realizada en China en la transmisión normal de programas de radiodifusión sonora y una relación de protección cocanal de 27 dB para el servicio por onda ionosférica muestran que se logra la nota de calidad de 4 y la interferencia es perceptible, pero no molesta, cuando el porcentaje de transmodulación es del 8,9%.

Teniendo en cuenta que la transmodulación depende de la frecuencia de la portadora interferente y de la altura de la capa reflectora, la Fig. 2 (curva A), indica la potencia radiada aparente (dB (1 kW)) respecto a una antena vertical corta o la fuerza electromotriz (dB (300 V)), en dirección vertical, que produciría durante el 50% del tiempo la transmodulación arriba especificada. En abscisas se ha llevado la relación entre la frecuencia interferente, f_i , y la girofrecuencia f_G (de aproximadamente 1,25 MHz en Europa). Esta curva se deduce de un gran número de mediciones efectuadas en Europa y Australia (véanse el § 5 y la Fig. 1), considerándose que los valores de transmodulación observados representan los menos favorables que pueden registrarse en el trayecto geográfico más desfavorable.

En la práctica, debe tenerse en cuenta el diagrama vertical de la antena así como el aumento de la distancia entre ésta y el punto de reflexión en direcciones distintas de la vertical. La Fig. 3 indica el aumento de la p.r.a.v. admisible en direcciones distintas de la vertical, debido solamente al incremento de la distancia. Se ha tenido en cuenta el aumento o la disminución de la potencia, debido al diagrama vertical de la antena. Para las aplicaciones prácticas, se han combinado en un solo factor de corrección ΔP que debe aplicarse a los valores derivados de la Fig. 2, los efectos de la distancia al punto de reflexión y el diagrama vertical. Este factor de corrección se ha calculado para antenas verticales de diferente longitud eléctrica $\chi \approx l/\lambda$ y para dipolos de media longitud de onda horizontales a diferentes alturas $\chi \approx h/\lambda$ sobre el suelo, en la hipótesis de que la capa ionosférica en que se produce la transmodulación esté a 85 km de altura. Los resultados de este cálculo aparecen en la Fig. 4.

En el caso de un servicio nocturno por onda de superficie que deba protegerse contra la transmodulación, puede suponerse que la intensidad de campo producida por la onda ionosférica del transmisor deseado, es inferior en 10 dB a la producida por la onda de superficie en el límite de la zona de servicio. Como sólo la componente ionosférica está sujeta a la transmodulación, puede admitirse un aumento de 5 dB de la radiación, si sólo debe asegurarse el servicio por onda de superficie, lo cual conduce a la curva B de la Fig. 2.

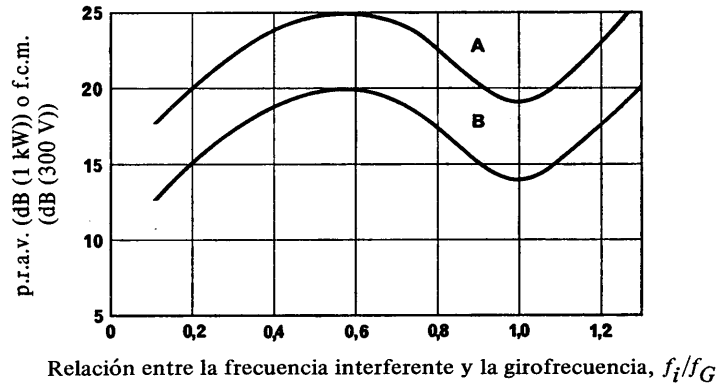


FIGURA 2 – Radiación de incidencia vertical que produce una transmodulación cuasimáxima de 6,3% a 300 Hz

Curva A: Para la protección del servicio por onda de superficie
 Curva B: Para la protección del servicio por onda ionosférica

0498-02

Como ejemplo, consideramos una antena vertical corta para la banda 5 (ondas kilométricas) ($f_i/f_G = 0,2$). La Fig. 2 indica que para proteger un servicio por onda de superficie la p.r.a.v. máxima en dirección vertical debe ser de 20 dB con relación a 1 kW, o sea 100 kW. Sin embargo, esta antena corta produce la intensidad de campo máxima en la ionosfera a un ángulo de elevación de 45° ; la Fig. 3 indica que puede admitirse un aumento de 3 dB para este ángulo, lo que da una p.r.a.v. de 200 kW. No obstante, es más cómodo especificar la p.r.a.v. en la dirección horizontal. Para una antena corta, la p.r.a.v. es 3 dB más elevada que 45° , o sea 400 kW.

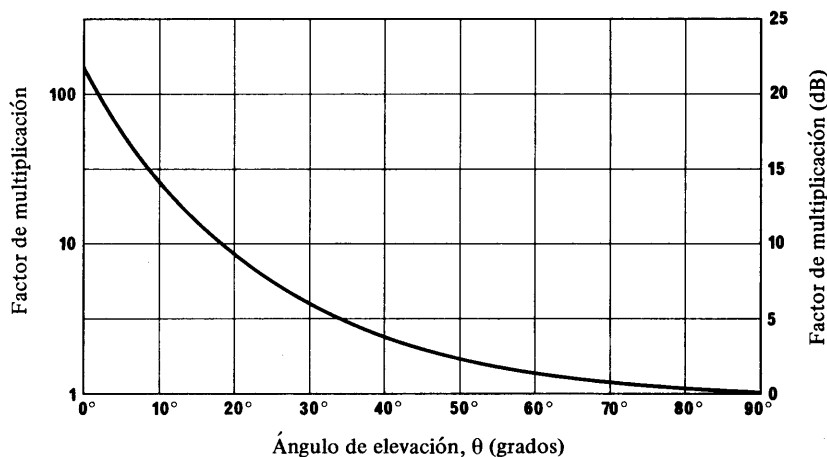


FIGURA 3 – Variación de la radiación admisible en función del ángulo de elevación

(Teniendo en cuenta la curvatura de la Tierra y suponiendo que la transmodulación se produce a una altitud de 85 km)

0498-03

Se halla en este caso, con ayuda de la curva A de la Fig. 4, el valor $\Delta P = +6$ dB para una antena corta vertical ($l/\lambda \ll 0,1$), de modo que la potencia total suministrada a la antena es: $P = +26$ dB (1 kW), es decir ≈ 400 kW.

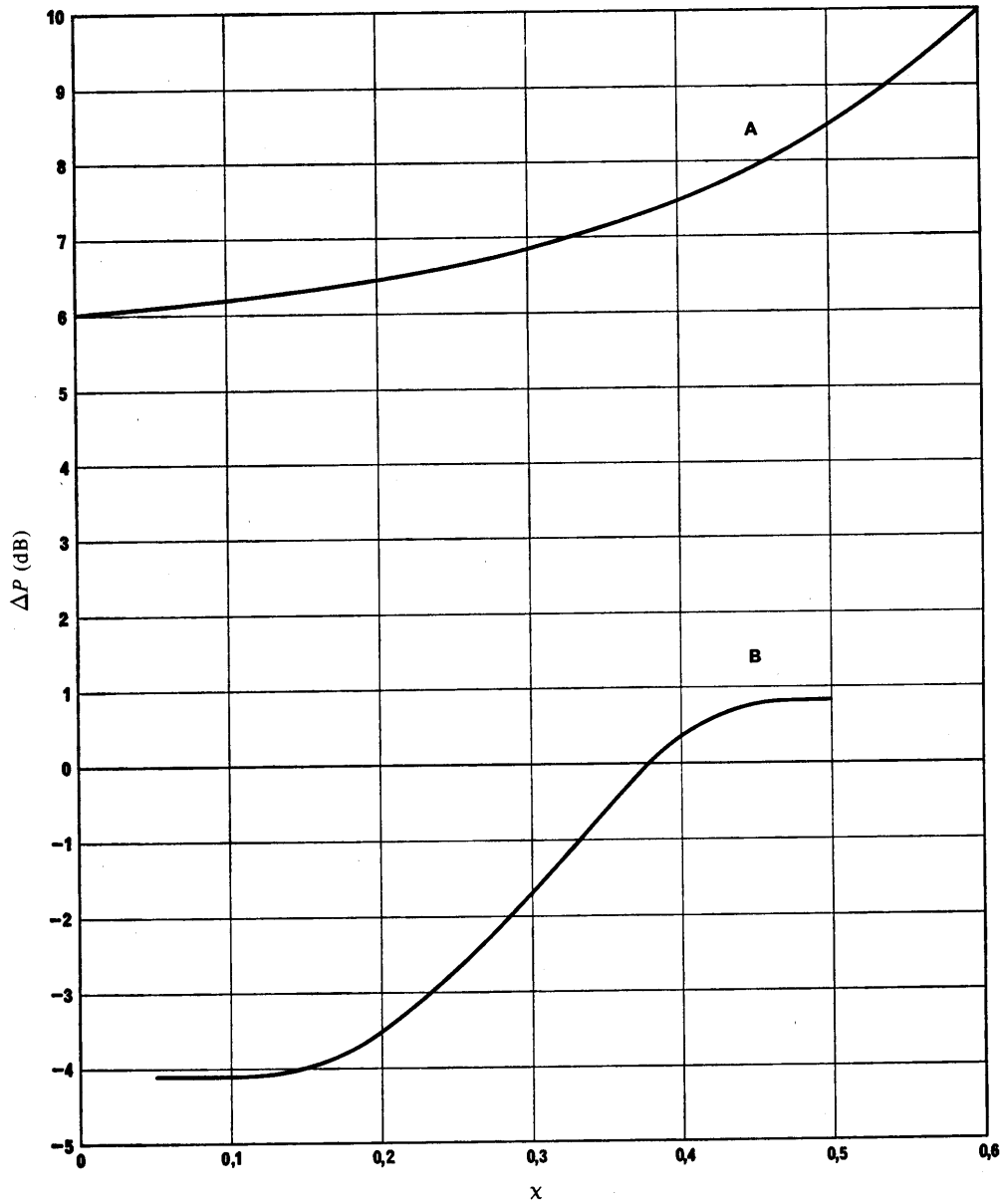


FIGURA 4 – Factor de corrección ΔP para distintos tipos de antena

- Curva A: Antena vertical
 χ : Altura relativa de la antena, l/λ
- Curva B: Dipolo horizontal ($l = 0,5 \lambda$)
 χ : Altura relativa sobre el suelo, h/λ

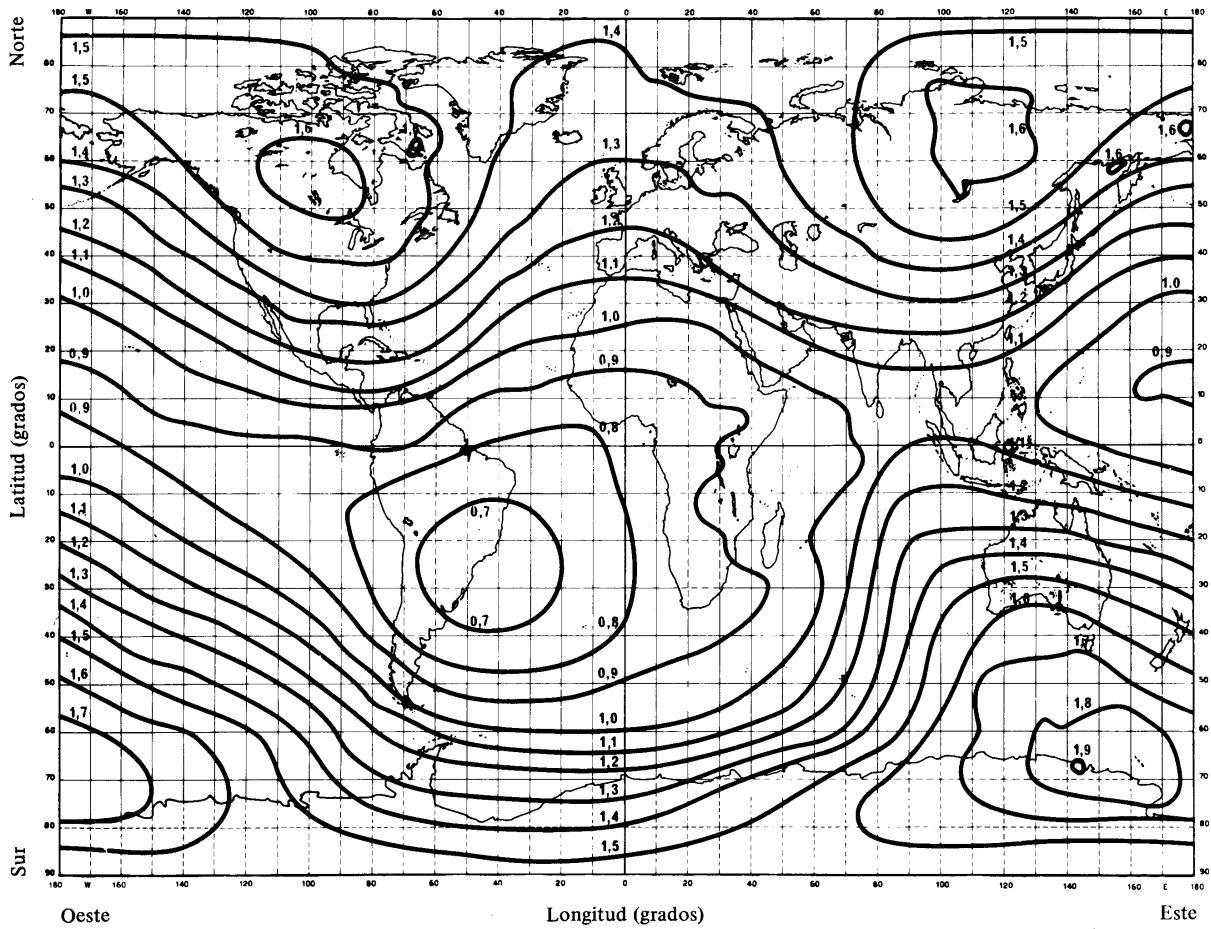


FIGURA 5 – Distribución mundial de la frecuencia giromagnética (MHz)

D04-sc

En la Fig. 6, se muestran curvas que dan la relación entre la profundidad de la transmodulación en el punto de recepción y la intensidad de campo en el punto de reflexión de la ionosfera, y han sido obtenidas a partir de investigaciones realizadas en China. Estas curvas pueden utilizarse para evaluar el porcentaje de transmodulación en un punto de recepción dado para diferentes valores de intensidad de campo interferente en el punto de reflexión en la ionosfera y para calcular aproximadamente la zona de la influencia de la transmodulación.

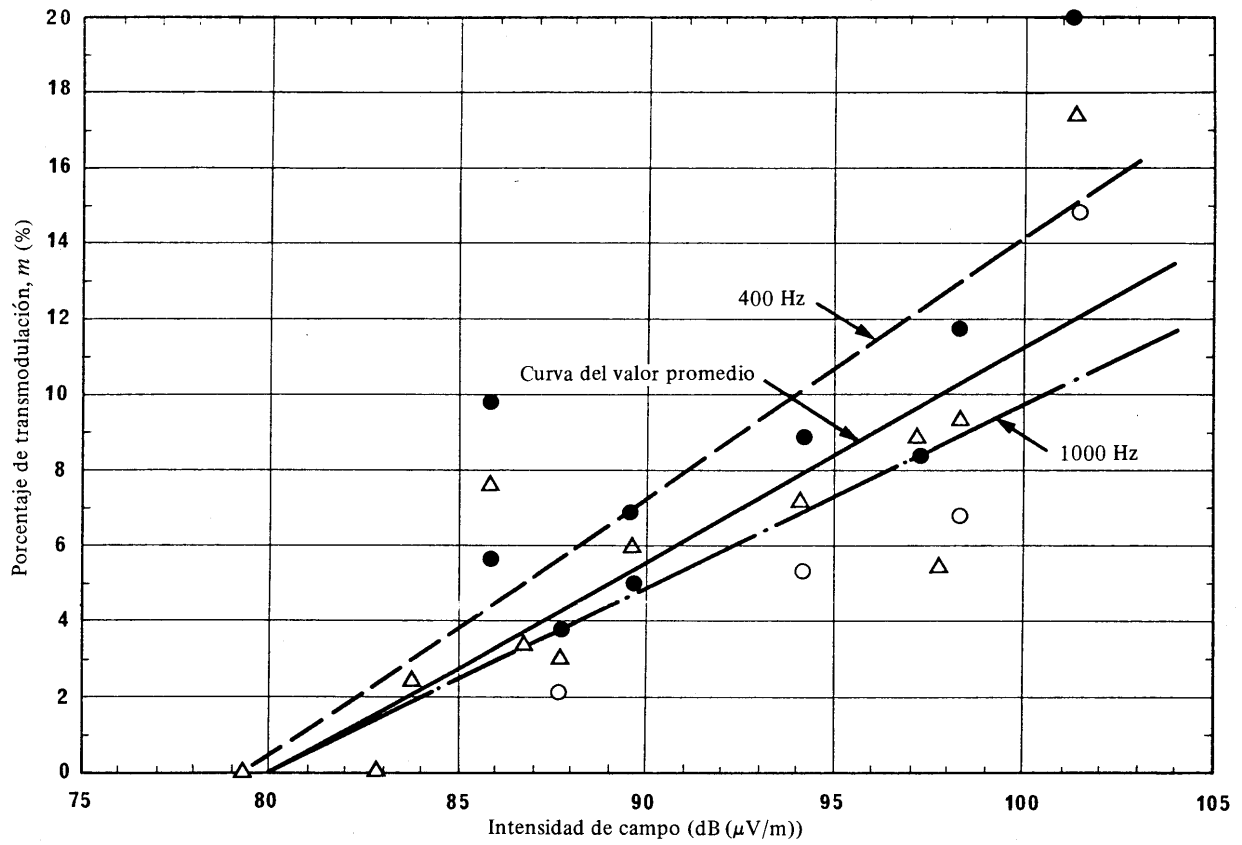


FIGURA 6 – Relación entre la profundidad de la transmodulación y la intensidad de campo en el punto de reflexión en la ionosfera

(Coeficiente de correlación $r = 0,84$ para las curvas)

- Valor medido de 400 Hz
- Valor medido de 1000 Hz
- △ Promedio del valor medido