

RECOMENDACIÓN UIT-R P.1412

DATOS DE PROPAGACIÓN PARA EVALUAR LA COORDINACIÓN ENTRE ESTACIONES TERRENAS QUE FUNCIONAN EN BANDAS DE FRECUENCIAS ATRIBUIDAS CON CARÁCTER BIDIRECCIONAL

(1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el Reglamento de Radiocomunicaciones atribuye algunas bandas de frecuencias para su utilización bidireccional por los sistemas Tierra-espacio;
- b) que deben tenerse en cuenta los distintos trayectos de propagación para evaluar la necesidad de realizar la coordinación entre dos estaciones terrenas que funcionan de forma bidireccional;
- c) que la Comisión de Estudio 1 de Radiocomunicaciones ha emprendido estudios sobre la determinación de la zona de coordinación en torno a una estación terrena en las bandas de frecuencias comprendidas entre 0,1 GHz y 105 GHz,

recomienda

1 que al considerar la necesidad de realizar una coordinación entre estaciones terrenas que funcionan de forma bidireccional se tenga en cuenta la información y los ejemplos ilustrativos que figuran en el Anexo 1.

ANEXO 1

1 Introducción

Los posibles requisitos para el funcionamiento de estaciones terrenas en bandas de frecuencias atribuidas con carácter bidireccional plantea un cierto número de consideraciones que deben estudiarse para demostrar que en muchos casos es viable la compartición. Este Anexo demuestra dicha viabilidad y amplía la evaluación a áreas particulares en las que este tipo de funcionamiento exige un examen más detallado. Facilitando la evaluación de la posible interferencia en la zona de coordinación determinada por la Recomendación UIT-R IS.848, se hace hincapié sobre la viabilidad de tal funcionamiento.

El objeto de esta Recomendación es proporcionar un procedimiento simplificado aplicable a configuraciones geométricas representativas y centrado en la evaluación del efecto de la dispersión debida a la lluvia en la coordinación bidireccional.

2 Casos de interferencia

Se consideran tres configuraciones de interferencia:

- entre dos estaciones terrenas (de gran tamaño), funcionando el transmisor y el receptor con dos satélites geoestacionarios distintos;
- entre un terminal situado en una órbita de satélites geoestacionarios (OSG) y un enlace de conexión con un satélite no geoestacionario (no OSG) del servicio móvil por satélite (es decir, una estación terrena con una antena de gran tamaño);
- entre un terminal OSG y un gran número de terminales del servicio fijo por satélite (SFS) no OSG (antenas pequeñas).

Para las dos primeras configuraciones, que utilizan antenas de ganancia media/alta, puede utilizarse la aproximación de haz estrecho de la ecuación de radar biestático.

Para la tercera configuración, con una antena de ganancia media/elevada y muchas estaciones terrenas pequeñas con antenas de haz ancho, puede emplearse la aproximación de haz estrecho para el lóbulo principal de la antena de alta ganancia y el lóbulo lateral de la antena de haz ancho. En este caso, se supone que las estaciones terrenas pequeñas pueden limitarse a ángulos de elevación por encima de 40°; otros casos con ángulos de elevación por debajo de 15° pueden necesitar un enfoque distinto; por ejemplo, la utilización de un método de contorno auxiliar.

3 Bases del método

3.1 Modo (1), propagación en cielo despejado

Para el modo (1), la interferencia a lo largo del plano de círculo máximo que contiene el eje de puntería se reducirá al menos 22 dB cuando el ángulo de elevación de la antena de la estación terrena se incrementa de 5° hasta, al menos, 40°. Para otros acimuts, que no se encuentran a lo largo del acimut del eje de puntería, la reducción será inferior pero a partir de un valor inicial más bajo de la ganancia de antena en dicha dirección.

3.2 Modo (2), dispersión por los hidrometeoros

Para el modo (2), el cálculo es más complejo pero puede deducirse cualitativamente una disminución en el acoplamiento a partir del volumen común reducido en el interior de la atmósfera que aparecerá al aumentar los ángulos de elevación de la estación terrena de 5° hasta, al menos, 40°.

En la Fig. 1 se representa la geometría supuesta para el método, siendo T el transmisor y R el receptor. Se supone inicialmente que el haz procedente de T se encuentra en la dirección vertical, o próxima a ella, y que una célula de lluvia aislada está situada de forma que llena el haz; es decir, una situación de «caso más desfavorable». Aplicando la ecuación general de la dispersión biestática a un elemento δV del haz como indica la Fig. 1:

$$P_r / P_t = (G_t / 4\pi y^2) (\eta \cdot \delta V / 4\pi x^2) (G_r \lambda^2 / 4\pi) \quad (1)$$

siendo:

- x : distancia de δV a R
- y : distancia de δV a T
- G_t : ganancia de la antena del transmisor
- G_r : ganancia de la antena del receptor
- η : sección transversal media por volumen unitario
- λ : longitud de onda;

se supone que no hay atenuación fuera del haz procedente de T.

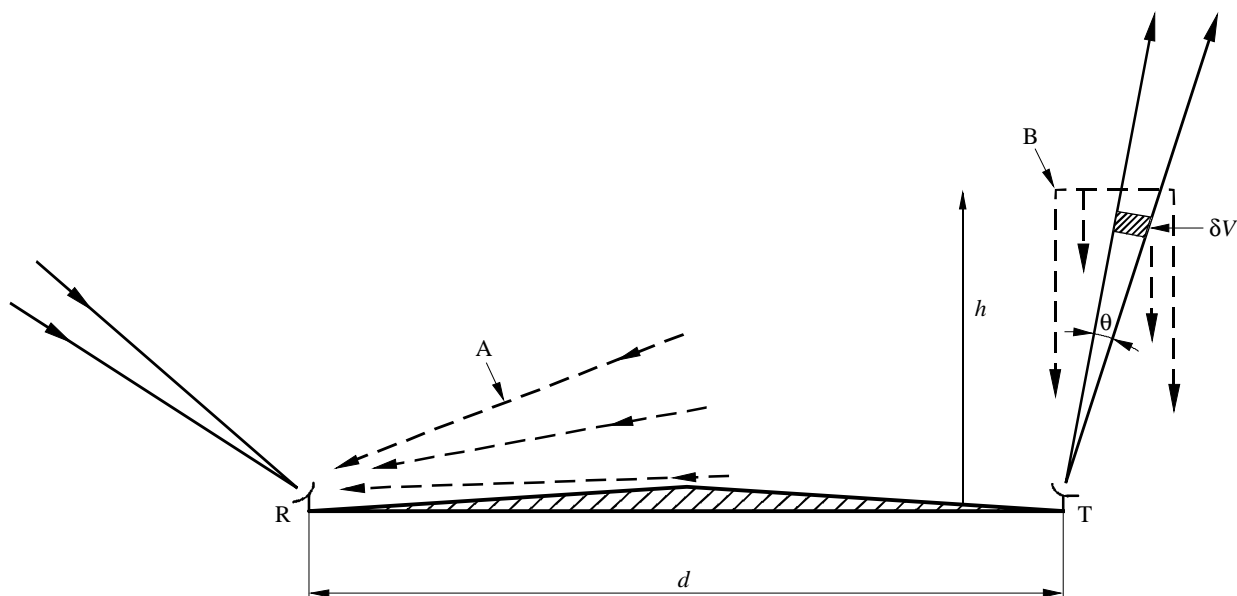
Supóngase que d , la separación entre T y R, es notablemente mayor que la altura de la lluvia, h . En ese caso, si el haz procedente de R está orientado en acimut y elevación de manera que se encuentre como mínimo a 45° de cualquier porción de la lluvia en el haz procedente de T, hay una expresión sencilla para la ganancia del lóbulo lateral de R en la dirección de la lluvia. Además, la mayoría de la lluvia en el haz procedente de T contribuirá a la dispersión (suponiendo que no hay apantallamiento significativo del terreno), hasta que d tome un valor mucho mayor que, por ejemplo, 100 km. Incluso para $d = 200$ km, el 80% del volumen de lluvia en el haz continuará siendo efectivo, suponiendo $h = 4$ km y un modelo de «4/3 de rayo de la Tierra».

Sustituyendo δV , en términos de G_t e integrando en todo el volumen, puede demostrarse fácilmente que la relación entre la potencia recibida y transmitida es:

$$P_r / P_t \approx (G_r \eta \lambda^2 h) / 256 d^2 \quad (2)$$

para las condiciones supuestas, donde G_r es la ganancia del lóbulo lateral (que se supone uniforme), tal como indica la Fig. 1 y el haz procedente de T va en dirección vertical o próximo a ella.

FIGURA 1
Geometría de dispersión bidireccional



A: acoplamiento por los lóbulos laterales
B: célula de lluvia

1412-01

La estimación de las pérdidas adicionales debidas a la atenuación fuera del volumen común es un problema complejo de variabilidad estadística, tanto del índice de pluviosidad como del tamaño de la célula de lluvia. Sin embargo, admitiendo que la coordinación exige una estimación «conservadora», puede suponerse una célula de lluvia aislada. Las pérdidas adicionales dependerán, a una frecuencia determinada, del tamaño de la célula y de su situación. Si está situada de forma que una parte considerable se encuentra entre T y R, las pérdidas adicionales pueden ser significativas. Si su centro se encuentra en el otro lado de T visto desde R (pero llenando aún el haz de T), las pérdidas adicionales serán pequeñas. Se ha demostrado que, debido a los efectos compensatorios de la disminución del diámetro de la célula y del aumento de la atenuación (dB/km) a medida que aumenta el índice de pluviosidad, las pérdidas adicionales no dependen fuertemente de dicho índice, pues son aproximadamente de 4 dB, para valores del orden de 10 a 60 mm/h, a 18 GHz; de unos 2 dB a 12 GHz; y despreciables a 4 GHz. Aunque la geometría puede ser algo distinta, pueden suponerse los mismos valores para la atenuación fuera del volumen de dispersión por la lluvia. Con esta adición, más una pequeña corrección cuando sea necesario para tener en cuenta la absorción gaseosa, pueden calcularse las pérdidas de transmisión en función de la distancia, la frecuencia y la reflectividad (es decir, el índice de pluviosidad). Conviene suponer un valor de 4 km para la altura de la lluvia, h , valor que es representativo de un porcentaje de tiempo del 0,01% aproximadamente para latitudes de 0° a 55° .

Para la tercera configuración, mencionada en el § 2, debe utilizarse la Recomendación UIT-R P.620 como base de los cálculos si la elevación de la antena de haz ancho cae por debajo de 30° .

4 Ejemplos ilustrativos de la aplicación del método a las tres configuraciones

4.1 Cálculos de la dispersión biestática para sistemas del SFS/OSG

Se han llevado a cabo integraciones numéricas utilizando la ecuación del radar biestático para el acoplamiento de lóbulo principal-lóbulo lateral entre dos estaciones que funcionan en modo bidireccional. Los cálculos se efectuaron suponiendo que el transmisor y el receptor tenían ganancias similares de 57,5 dB, con un diagrama del lóbulo lateral dado por la expresión:

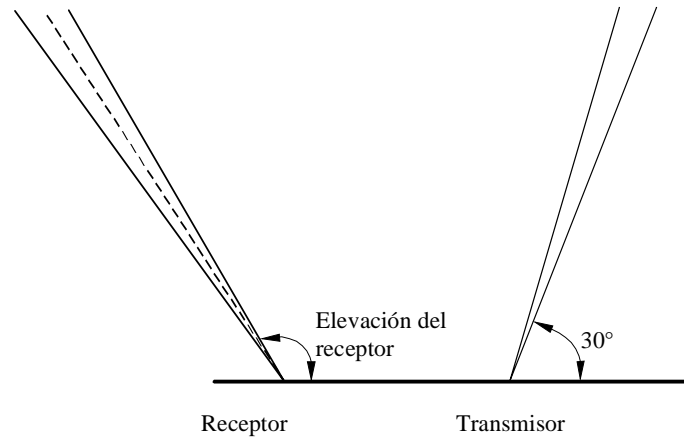
$$G(\varphi) = 32 - 25 \log_{10}(\varphi) \tag{3}$$

El ángulo de elevación del transmisor se fijó a 30° . Se supuso que el receptor apuntaba a una dirección distinta de la del transmisor; es decir, con un ángulo de elevación superior a 90° . La geometría se ilustra en la Fig. 2.

Se efectuaron cálculos para la frecuencia de 18 GHz, y para cuatro índices de pluviosidad: 2, 8, 28 y 78 mm/h, correspondientes a la zona hidrometeorológica F para porcentajes de tiempo del 1%, 0,1%, 0,01% y 0,001%.

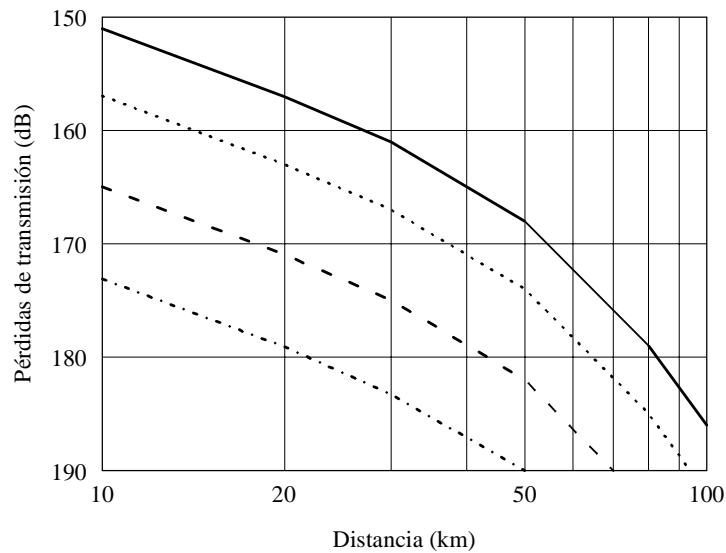
La atenuación debida a la lluvia entre dos haces se fijó arbitrariamente a un valor de 4 dB a 18 GHz, independientemente del índice de pluviosidad. Aunque puede esperarse una atenuación específica más elevada para índices de pluviosidad más altos, la precipitación puede ser más dispersa para índices de pluviosidad menores, con lo que se obtiene una atenuación en el trayecto similar para una amplia gama de índices de pluviosidad. Se trata de una aproximación general pero adecuada. Los resultados se muestran en la Fig. 3.

FIGURA 2
Geometría con transmisor y receptor fijos



1412-02

FIGURA 3
Variación de las pérdidas de transmisión con la distancia



- 0,001%
- 0,01%
- - - - 0,1%
- 1%

Elevación del transmisor = 30°
Elevación del receptor > 90°
Frecuencia = 18 GHz

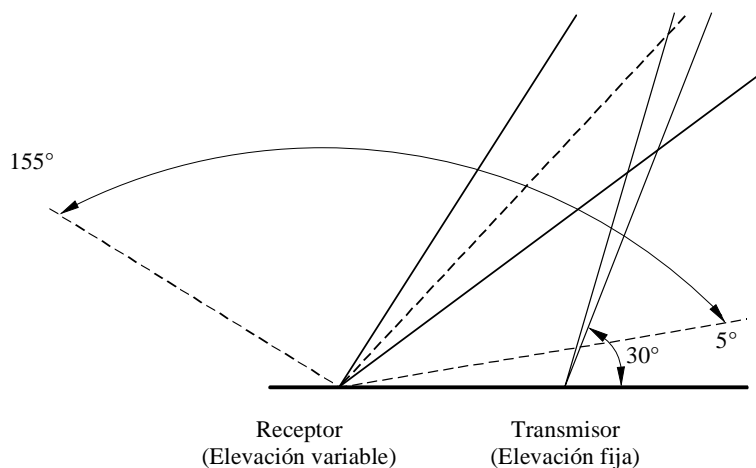
1412-03

4.2 Dependencia con el ángulo de elevación de la dispersión biestática: acoplamiento entre un receptor de haz ancho y un transmisor de haz estrecho

4.2.1 Seguimiento de antena de haz ancho en una amplia gama de elevaciones

El ángulo de elevación del transmisor se fijó a 30° y la elevación del receptor varió entre 5° y 155°, como se muestra en la Fig. 4.

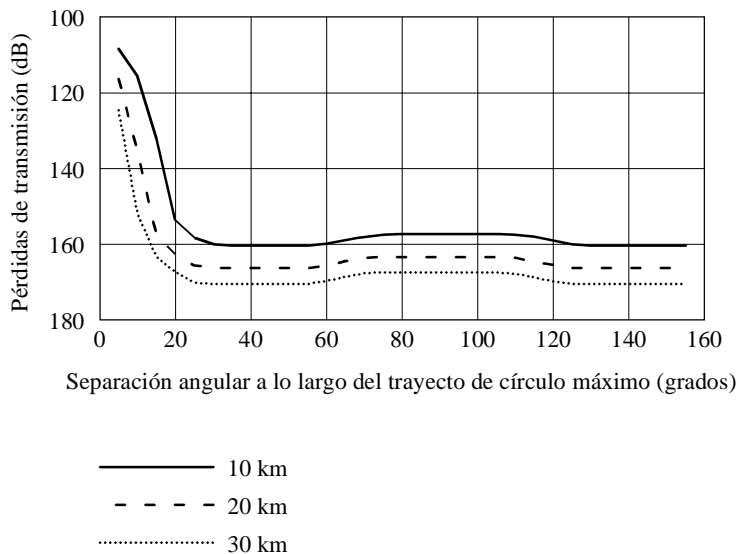
FIGURA 4
Geometría con ángulos de elevación fijos para el transmisor y variables para el receptor



1412-04

Las pérdidas de transmisión calculadas resultantes se muestran en la Fig. 5, para tres distancias distintas entre los emplazamientos del transmisor y el receptor. Puede observarse que cuando los ángulos de elevación del receptor son inferiores a 30°, se produce una intersección del haz principal provocándose un acoplamiento elevado. Para ángulos superiores a 30°, sólo se produce acoplamiento entre el lóbulo principal del transmisor y el lóbulo lateral del receptor, que es independiente del ángulo de elevación. Se observa un comportamiento similar para todas las distancias, si bien con distintos niveles de pérdidas de transmisión.

FIGURA 5
Variación de las pérdidas de transmisión con el ángulo de elevación para un receptor de haz ancho



Elevación del transmisor = 30°

1412-05

Se llevaron a cabo más cálculos para una elevación del transmisor fija de 30° y un receptor de haz ancho con elevaciones comprendidas entre 0° y 60°, suponiendo un elevado índice de pluviosidad de 60 mm/h en el volumen común y para tres frecuencias, 5, 15 y 30 GHz. En el Cuadro 1 aparece la atenuación dentro del volumen común para cada frecuencia.

CUADRO 1

Atenuación supuesta para cada frecuencia

Frecuencia (GHz)	Atenuación (dB)
5	0
15	4
30	12

Los resultados se muestran en la Fig. 6 e indican que las pérdidas de transmisión son, en primera aproximación, independientes de la frecuencia. Para una separación entre el transmisor y el receptor de 5 km, las pérdidas de transmisión mínimas son aproximadamente de 98 dB. Este valor puede extrapolarse para otras distancias, D , utilizando la relación:

$$L = 98 + 15 (\log D - 0,7) \quad \text{para } D \geq 1 \quad (4)$$

4.2.2 Seguimiento con antena de haz estrecho para una gama de elevaciones

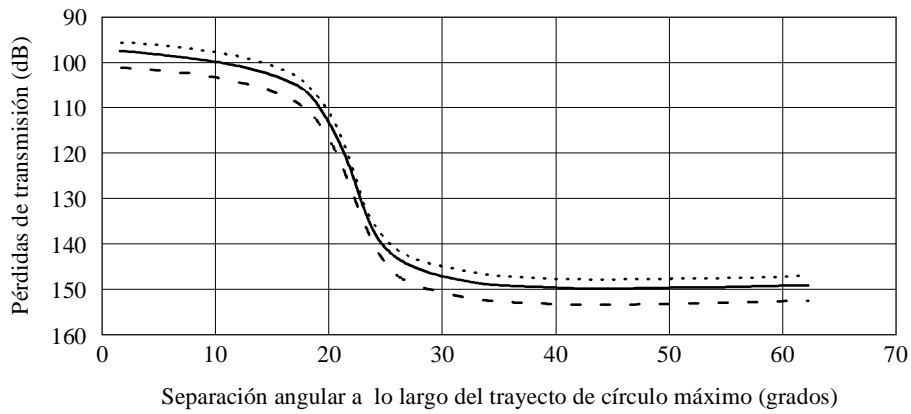
La Fig. 7 muestra la segunda geometría considerada en la que el receptor presenta un ángulo de elevación de 30° y los cálculos de las pérdidas se realizan para diversas elevaciones del transmisor de haz estrecho.

Los resultados se muestran en la Fig. 8. Para una separación de 10 km, se produce muy poco acoplamiento entre los dos sistemas con ángulos de elevación del transmisor por debajo de 60°, pero a medida que la elevación crece a partir de este valor, el acoplamiento aumenta rápidamente puesto que el haz del transmisor penetra en el haz principal del receptor. Ello sucede a una altura de 10 km con esta geometría. Para separaciones más amplias, los ángulos son correspondientemente mayores.

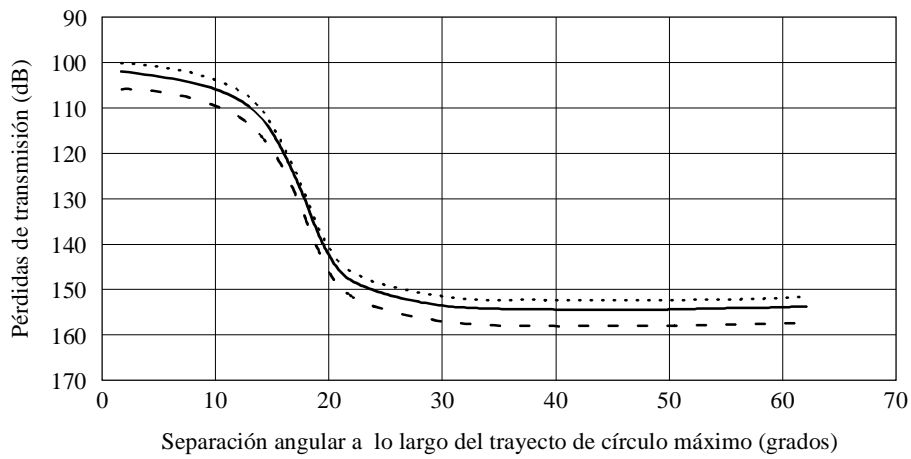
Los resultados mostrados en la Fig. 5 indican que para ángulos de elevación del receptor mayores de 30° las pérdidas son virtualmente independientes del ángulo de elevación. En consecuencia, la Fig. 9 muestra la dependencia de las pérdidas con la distancia, para una frecuencia de 18 GHz, con una elevación del transmisor de 30°, una elevación del receptor de 80° y dos índices de pluviosidad, 30 y 60 mm/h.

FIGURA 6

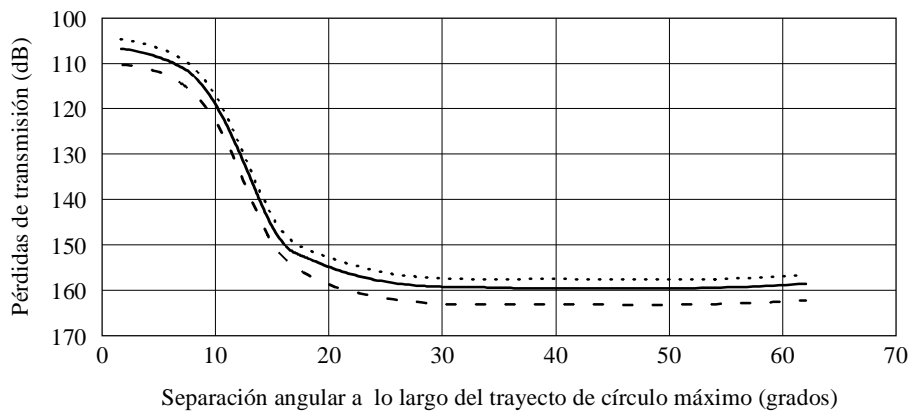
Variación de las pérdidas de transmisión con el ángulo de elevación del receptor de haz ancho



a) Separación entre el transmisor y el receptor: 5 km



b) Separación entre el transmisor y el receptor: 10 km

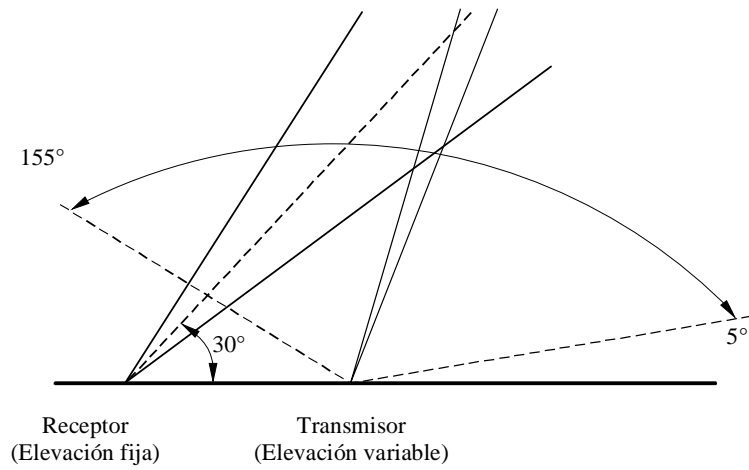


c) Separación entre el transmisor y el receptor: 20 km

- - - 5 GHz
- 15 GHz
- 30 GHz

FIGURA 7

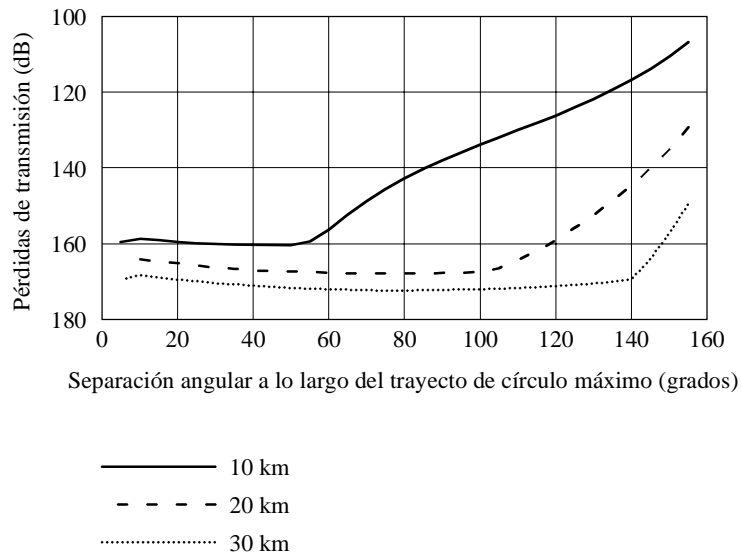
Geometría con receptor de elevación fija y transmisor de elevación variable



1412-07

FIGURA 8

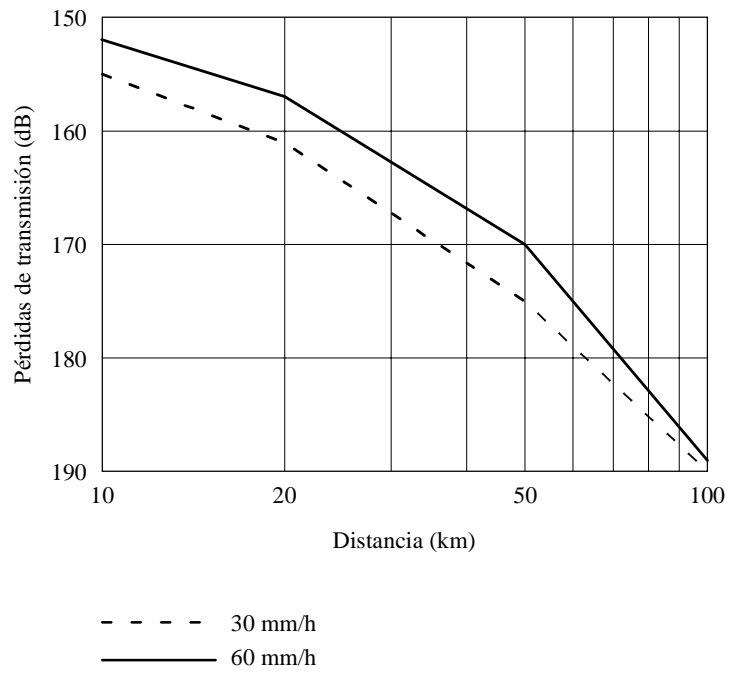
Variación de las pérdidas de transmisión con el ángulo de elevación del transmisor de haz estrecho



Elevación del receptor = 30°

1412-08

FIGURA 9
Variación de las pérdidas de transmisión con la distancia



Elevación del transmisor = 30°
Elevación del receptor = 80°
Frecuencia = 18 GHz

1412-09

