
Capítulo 6 Interferencia entre sistemas satelitales adyacentes

6.1 Posibles Modos de interferencia

Al utilizar una banda de frecuencia para un determinado servicio, es necesario asegurarse que la interferencia entre las diferentes redes que operan para ese servicio en esa banda no exceden los límites aceptables. Cuando una banda de frecuencia es compartida entre 2 o más servicios, métodos similares son usados para asegurar que estaciones de servicios secundarios no interfieran con estaciones de servicios primarios, y que la interferencia entre estaciones de servicios del mismo nivel (primario, secundario, etc.) no excedan los límites aceptables.

En el caso del servicio fijo por satélite, es importante mencionar que se considera como un servicio primario. Esto quiere decir que tiene prioridad con respecto a otros servicios que trabajan en la misma frecuencia en los enlaces, tanto de subida como de bajada.

Para poder conocer los límites permitidos de interferencias en el servicio fijo satelital, es importante saber las fuentes de interferencia. A estas fuentes se les conoce como posibles modos de interferencia entre estaciones en el espacio y estaciones de servicio terrestres.

Antes de hablar sobre los modos de interferencia, es importante mencionar la diferencia entre una estación terrena y una estación terrestre. La primera es aquella utilizada para enlaces Tierra-espacio; en cambio, la segunda es aquella utilizada en enlaces Tierra-Tierra, como las microondas terrestres.

Los modos de interferencia están divididos de la siguiente manera:

- Modos de interferencia entre servicios espaciales y terrestres

A1 Transmisión de una estación terrestre que posiblemente interfiere en la recepción de una estación terrena

A2 Transmisión de una estación terrena que posiblemente interfiere en la recepción de una estación terrestre

C1 Transmisión de una estación espacial que posiblemente interfiere en la recepción de una estación terrestre

C2 Transmisión de una estación terrestre que posiblemente interfiere en la recepción de una estación espacial

- Modos de interferencia entre estaciones de diferentes sistemas espaciales en bandas de frecuencias asignadas por separado para enlaces de subida y enlaces de bajada

B1 Transmisión de una estación espacial de un sistema que posiblemente interfiere en la recepción de una estación terrena de otro sistema espacial

B2 Transmisión de una estación terrena de un sistema espacial que posiblemente interfiere en la recepción de una estación espacial de otro sistema

- Modos de interferencia entre estaciones de diferentes sistemas espaciales con bandas de frecuencias asignadas para uso bidireccional

E Transmisión de una estación espacial de un sistema que posiblemente interfiere en la recepción de una estación espacial de otro sistema

F Transmisión de una estación terrena de un sistema espacial que posiblemente interfiere en la recepción de una estación terrena de otro sistema espacial.

El siguiente diagrama (Figura 6-1), muestra la forma en que se distribuyen los modos de interferencia para el caso de 2 sistemas satelitales adyacentes.

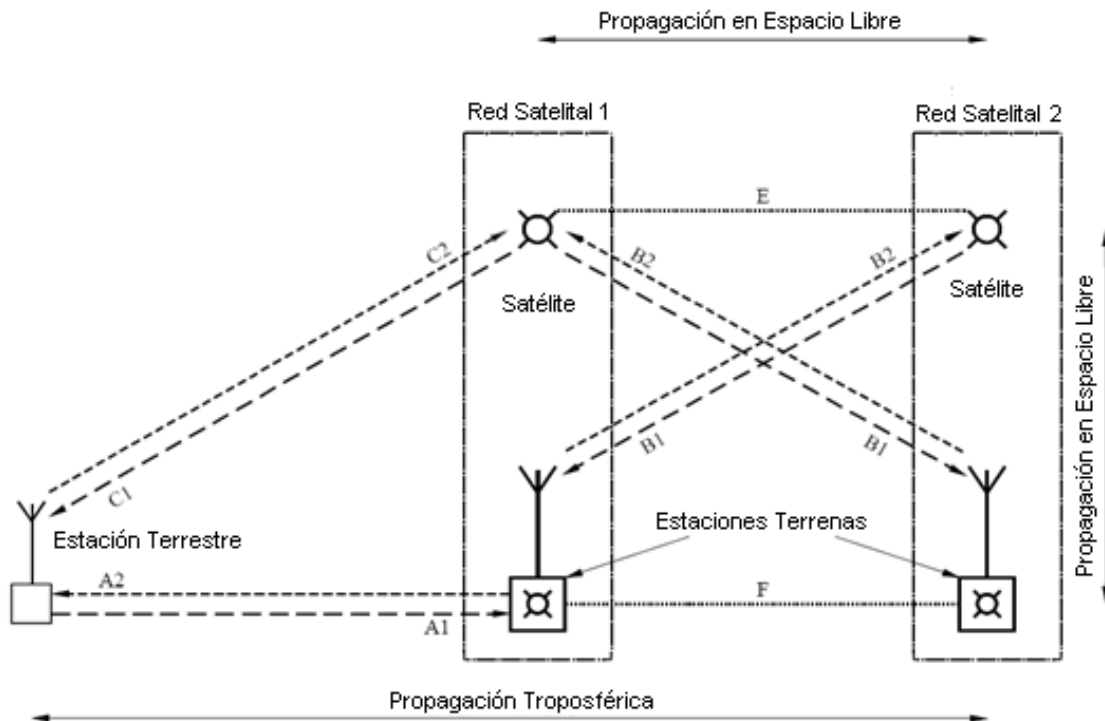


Figura 6-1: Modos de interferencia para el servicio fijo por satélite considerando dos sistemas satelitales de iguales condiciones y derechos para radiocomunicaciones terrestres.

6.2 Interferencia entre Satélites Adyacentes

Cuando la transmisión de una estación espacial de un sistema interfiere en la recepción de una estación espacial de otro sistema (Modo de Interferencia E), se debe al uso de bandas de frecuencia bidireccionales, esto es, cuando una red satelital utiliza una banda de frecuencia para transmitir y la otra red satelital utiliza la misma banda para la recepción, quedando en sentidos opuestos, por ello cuando un satélite transmite, existe la posibilidad de que un satélite adyacente reciba esa señal no deseada.

Para el cálculo de la interferencia entre satélites adyacentes, se obtiene el aumento aparente de la temperatura de ruido equivalente del enlace. Este parámetro es utilizado para la coordinación entre redes satelitales adyacentes, por lo que primero es necesario definir las dos redes siendo A un enlace por satélite de la red R asociada al satélite S, y A' un enlace por satélite de la red R' asociada al satélite S'. De acuerdo a la Figura 6-2.

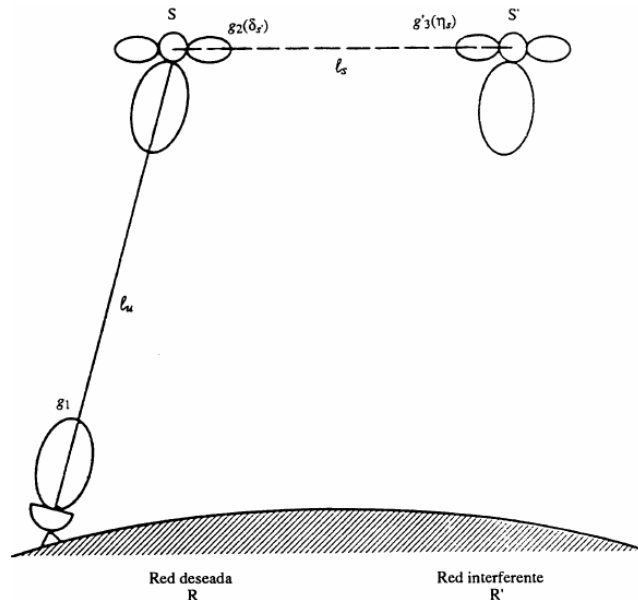


Figura 6-2: Redes deseada e interferente que comparten la misma banda de frecuencias en sentidos opuestos de la transmisión (utilización bidireccional).

Donde:

- η_s : dirección del satélite S, a partir del satélite S';
- δ_s : dirección del satélite S', a partir del satélite S;
- g_1 : Ganancia de la antena transmisora de la estación terrena e_T en dirección del satélite S;
- $g_2(\delta_s)$: ganancia de la antena transmisora del satélite S en la dirección δ_s ;
- $g_3(\eta_s)$: ganancia de la antena transmisora del satélite S' en la dirección η_s ;
- ℓ_u : pérdida de transmisión en el espacio libre correspondiente al enlace ascendente;
- ℓ_s : pérdida de transmisión en el espacio libre correspondiente al enlace entre satélites, calculada entre el satélite S y el satélite S';

El incremento de la temperatura de ruido equivalente resultante de la interferencia que se recibe en la antena del satélite del enlace A está dado por:

$$\Delta T_S = \frac{p'_S g'_3(\eta_s) g_2(\delta_s)}{k \ell_s}$$

Donde:

- k : constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K);
- p'_S : Densidad máxima de potencia por Hz suministrada a la antena transmisora del satélite S' (media correspondiente a la banda más desfavorable de 4 kHz, cuando la frecuencia de la portadora es inferior a 15 GHz, o a la banda más desfavorable de 1 MHz, cuando la frecuencia de la portadora es superior a 15 GHz) (W/Hz);

Considerado la ganancia de transmisión, el incremento aparente de la temperatura de ruido equivalente del enlace viene dado por:

$$\Delta T = \gamma \Delta T_S$$

Por otro lado, el incremento $\Delta T'$ de la temperatura de ruido equivalente del enlace A' originado por las emisiones interferentes del satélite asociado al enlace A, está dado por:

$$\Delta T' = \gamma' \Delta T'_S = \frac{p_s g_3(\eta'_s) g'_2(\delta_s)}{k \ell'_s}$$

Si los dos enlaces A y A' únicamente comparten una banda, se producirá interferencia entre enlaces de satélites adyacentes solamente en el enlace que utilice la banda compartida para su trayecto ascendente.

Puede utilizarse la discriminación por polarización para reducir la probabilidad de interferencias entre redes de satélite, cuando se emplean polarizaciones diferentes. En este caso, el incremento aparente de la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite, en el caso de interferencia entre satélites, puede determinarse mediante la expresión:

$$\Delta T = \frac{\gamma \Delta T_S}{Y_{SS}}$$

Donde Y_{SS} es el factor de discriminación por polarización para el enlace entre satélites.

6.3 Interferencia generada por una estación terrena en satélites de sistemas adyacentes y de un satélite en estaciones terrenas de sistemas satelitales adyacentes.

Para los casos de estaciones terrenas interfiriendo a satélites de sistemas adyacentes (Modo B2) y de satélites que interfieren a estaciones terrenas de otro sistema satelital (Modo B1) se puede realizar un cálculo similar de la interferencia a partir del incremento de la temperatura de ruido equivalente en cada enlace. Estos tipos de interferencia, están asociados a los casos en los que se asigna una banda de frecuencia en el enlace de subida y otra banda de frecuencia en el enlace de bajada, situación que sucede en los servicios fijos y en los servicios de radiodifusión.

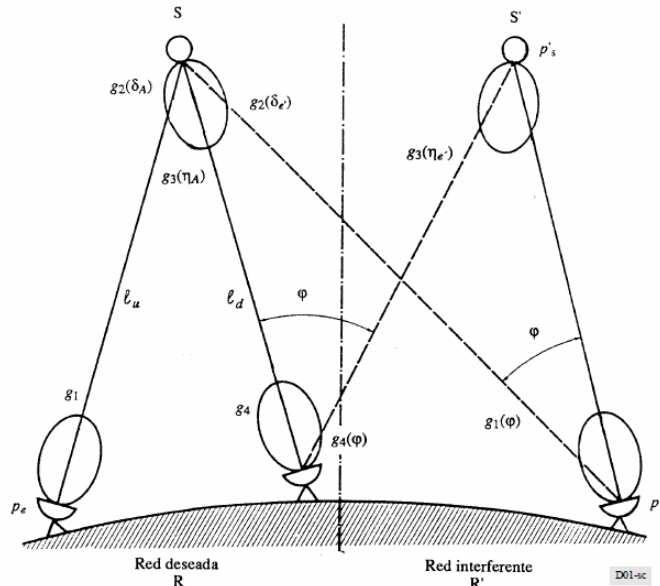


Figura 6-3: Redes que comparten la misma banda de frecuencias en el mismo sentido de transmisión.

Como se puede ver en la Figura 6-3. Para que exista una interferencia entre dos redes satelitales adyacentes, la asignación de bandas de frecuencias es la misma, tanto para el enlace de subida, como para el enlace de bajada.

Para el cálculo de la interferencia usando como parámetro el incremento de ruido aparente, se utilizan las mismas expresiones que en el caso de interferencia entre satélites. La diferencia consta de que, en estos casos, la ruta de la transmisión consta de 2 partes.

La primera, desde la antena transmisora de la estación terrena que interfiere al satélite S, está dada por:

$$\Delta T_S = \frac{p'_S g'_1(\varphi_t) g_2(\delta'_e)}{k \ell_u}$$

Donde:

ℓ_u : Pérdida de transmisión en el espacio libre correspondiente al enlace ascendente, calculada entre la estación terrena transmisora y el satélite S para el enlace por satélite A;

Y la segunda, desde el satélite S' que interfiere en la antena receptora de una estación terrena de una red satelital adyacente, está dada por:

$$\Delta T_e = \frac{p'_S g'_3(\eta_e) g_4(\varphi_t)}{k \ell_d}$$

El incremento de la temperatura de ruido equivalente del enlace (la suma de los dos modos de interferencia) por satélite resulta de la interferencia que se recibe tanto en el receptor del satélite como en el de la estación terrena del enlace A.

Cuando los satélites S y S' están equipados con simples repetidores-convertidores de frecuencia que utilizan la misma frecuencia de translación, las interferencias que se reciben en el enlace A se originan en los enlaces ascendente y descendente por el mismo enlace A'.

Por consiguiente, puede expresarse como sigue:

$$\Delta T = \gamma \Delta T_S + \Delta T_e$$

Donde La ganancia de transmisión se expresa como sigue:

$$\gamma = \frac{p_S g_3(\eta_A) g_4 \ell_u}{p_e g_1 g_2(\delta_A) \ell_d}$$

Siendo g_1 y g_4 son las ganancias máximas (en el eje) de las antenas de las estaciones terrenas de recepción y transmisión respectivamente.

Para determinar el mayor valor de $\Delta T/T$ es necesario asegurar que se han incluido todos los casos de posible interferencia. La mayor interferencia entre redes de satélite puede ser la del enlace ascendente o la del enlace descendente por lo que deberá poderse disponer de datos suficientes para calcular ambos casos con respecto a cada zona de servicio espacio-Tierra, esta razón está dada por:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\gamma \Delta T_S}{T} + \frac{\Delta T_e}{T}$$

Si el valor calculado de $\Delta T/T$ es inferior o igual al preestablecido, generalmente se considera del 6% con reutilización de frecuencias, y 6.5% sin reutilización de frecuencias, el nivel de interferencia causado por el enlace del satélite A' en el enlace del satélite A será admisible, independientemente

te de las características de modulación de ambos enlaces por satélite y de las frecuencias específicas utilizadas.

En cambio, si el valor calculado de $\Delta T/T$ es superior al preestablecido, habrá que efectuar un cálculo más detallado aplicando otros métodos y técnicas.

Para aplicar estos conceptos, es necesario conocer los ámbitos de interferencia. Para ello, se debe identificar cada banda o segmento de banda común a ambas redes, para cada haz de satélite en los dos segmentos espaciales. Dentro de cada una de tales bandas o segmentos de bandas, se identifican aquellas porciones en las que permanecen constantes las sensibilidades de recepción (G/T) de la estación espacial y de la estación terrena y las densidades de PIRE de la estación espacial y de la estación terrena, en cualquiera de las redes.

Ciertas partes del espectro pueden aparecer varias veces, debido a la reutilización de las frecuencias dentro de la red satelital. Cuando las frecuencias de los enlaces de subida y de bajada, o los haces del satélite, o ambos pueden agruparse por pares de varias formas (conmutación de la conectividad de los haces en un satélite), deben considerarse todas las posibles configuraciones operacionales. Además, el número de ámbitos estará limitado normalmente, al menos pueden, en los satélites convencionales, por la disposición de transpondedor de éstos y pueden, en los satélites simples, albergar varios o todos los transpondedores. Cuando dos satélites tienen haces de antena únicos (esto es, coincidencia en la cobertura de los haces transmisor y receptor) y todos sus transpondedores tienen características uniformes sobre la banda de frecuencias comunes, habrá únicamente un ámbito de interferencia.

Las características de las redes afectadas y la posible gravedad de la interferencia influyen en la elección del método a utilizar para la coordinación. Para ello, se tiene las siguientes técnicas:

- La comparación de las características de la *potencia total de la portadora* de las transmisiones con criterios de potencia interferente recibida admisible;
- La comparación de las características de *densidad de potencia* de las transmisiones con criterios de *densidad de potencia* interferente recibida admisible;
- La comparación de *aislamiento* disponible entre redes (pérdida de acoplamiento normalizada entre redes) con criterios de *aislamiento* necesario entre transmisiones (relación normalizada «portadora deseada/portadora interferente»).

La técnica de la potencia de la portadora es principalmente aplicable a los casos:

- En bandas de frecuencias en las que las redes de satélite están bien desarrolladas y en las que la población (número de satélites) es relativamente elevada;
- Para modulaciones que están bien definidas y pueden ser de cualquier tipo: de un solo canal por portadora (SCPC), analógicas, digitales, TV-MF, etc.;
- En bandas de frecuencias en las que este método se ha utilizado ampliamente.

La técnica de la densidad de potencia es principalmente aplicable a los casos:

- En bandas de frecuencia en las que las redes de satélite están en las etapas iniciales de desarrollo y en las que la población de satélites es reducida;

-
- Para modulaciones que tienen una densidad espectral de potencia casi uniforme; por ejemplo, modulaciones digitales;
 - Cuando los cálculos iniciales de $\Delta T/T$ presentan valores que son aceptables para cada red satelital; éste puede ser el caso de algunos dominios comunes entre las redes;
 - Cuando hay un grado considerable de flexibilidad en una o en ambas redes, de modo que puedan modificarse los valores de la densidad de potencia.

Para el caso de las técnicas de aislamiento, se tienen dos métodos: aislamiento convencional y aislamiento del enlace.

En el método de *aislamiento convencional* se compara el aislamiento disponible entre redes (una medida del acoplamiento electromagnético entre dos redes) con el aislamiento necesario entre dos transmisiones mutuamente interferentes.

El aislamiento necesario es una medida relativamente precisa de la «incompatibilidad» por interferencia de dos transmisiones; cuanto más alto es el valor de aislamiento necesario, mayor es la incompatibilidad. Se expresa a través de la relación potencia deseada/potencia interferente admisible entre dos transmisiones y sus respectivos requisitos de calidad

En este método se compara también el aislamiento disponible en el enlace con el aislamiento necesario de la portadora para determinar la necesidad de coordinación. Cuando el valor del aislamiento disponible del enlace es menor que el aislamiento necesario de la portadora, es necesario establecer una coordinación detallada.

Según este enfoque, se determina el aislamiento disponible en el enlace basándose en la información relativa al “back-off” (reducción respecto a saturación) de entrada y de salida del transpondedor, la PIRE del satélite y la densidad de flujo de saturación, junto a los parámetros principales de diseño del enlace. No es necesario acudir al detalle de los parámetros de la portadora como en el método del aislamiento convencional.

Los aislamientos necesarios de la portadora se expresan en términos de relaciones de potencia señal deseada/no deseada para el caso de interferencia de una sola fuente entre dos transmisiones, y de sus respectivas relaciones de portadora/densidad de ruido en el enlace descendente.

6.4 Interferencia generada por estaciones terrestres en estaciones terrenas

La congestión del espectro radioeléctrico ha determinado la necesidad de compartir muchas bandas de frecuencias de microondas entre diferentes servicios radioeléctricos y entidades de explotación similares.

Como ejemplo se tiene a la banda C asignada para comunicaciones satelitales la cual, es también asignada a enlaces de microondas terrestres. Estos enlaces se han ido desarrollando como vastas y complejas redes que abarcan una gran superficie en Tierra, sobretodo en áreas muy pobladas, por lo que existe un congestionamiento de enlaces terrestres que provoca dificultades para localizar una estación terrena. Debido a que ésta estación recibe en la banda de 4 GHz, es susceptible a interferencias de microondas terrestres que transmiten a 4 GHz Además, la estación terrena transmite a 6 GHz y esto genera interferencia en la recepción de microondas terrestres que opera a 6 GHz

Para garantizar la coexistencia satisfactoria de los sistemas terrenales y Tierra-espacio existentes, es importante estar en condiciones de predecir con una precisión razonable la interferencia potencial que pueda existir entre ellos, utilizando procedimientos y modelos de predicción aceptables a todas las partes implicadas, y de precisión y fiabilidad demostradas.

La interferencia mutua entre una estación terrena y un sistema de microondas terrestre es una función de la potencia y la densidad espectral de la portadora, y la desviación de frecuencias entre dos portadoras. La potencia de la interferencia dentro de un ancho de banda de una señal satelital recibida por la estación terrena depende de la densidad espectral de una portadora interferente terrestre. En el caso de portadoras de banda ancha, frecuencias en las cuales se incluye a las señales interferentes, se tiene toda la potencia de la portadora interferente. Pero para el caso de portadoras satelitales de banda estrecha, la potencia de la portadora interferente se reduce por medio de un factor reductor de interferencia que es la relación entre la potencia total de la portadora y la potencia en la banda estrecha.

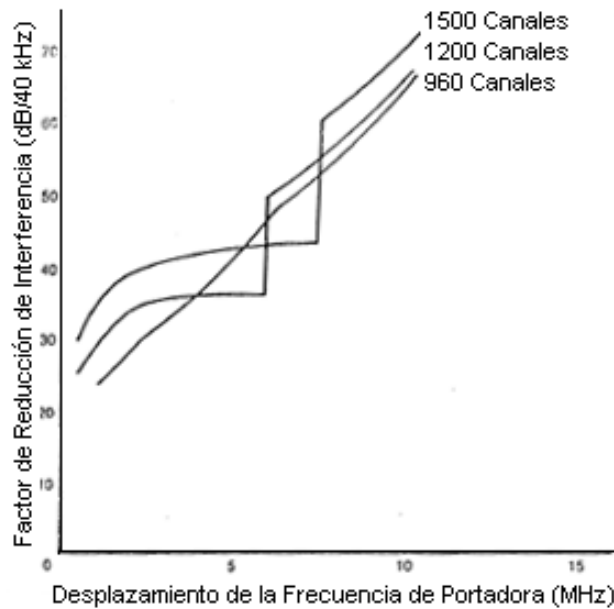


Figura 6-4: Factor de reducción de interferencia para una portadora satelital.

De forma similar, la desviación de frecuencias provoca interferencias en los sistemas de microondas terrestres provocadas por transmisiones en banda estrecha desde estaciones terrenas. La magnitud de la interferencia se determina con la separación entre la frecuencia de la portadora interferente y la frecuencia de la portadora terrestre. El factor de reducción de interferencia se obtiene convolucionando la densidad espectral de la portadora interferente con la portadora terrestre.

La FCC establece, como objetivo, una potencia de interferencia desde portadoras de microondas terrestres de 25 dB debajo de la potencia de las portadoras satelitales.

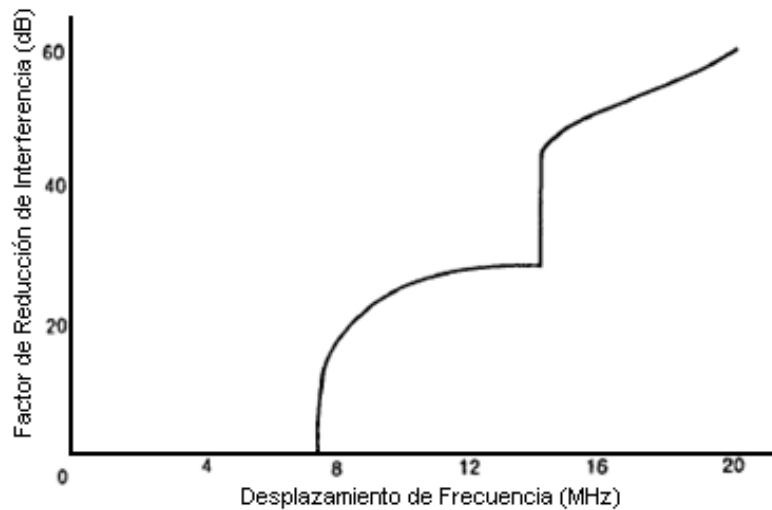


Figura 6-5: Factor de reducción de interferencia para una portadora de microondas terrestre.

6.4.1 Mecanismos de propagación de la interferencia

La propagación de la interferencia puede presentarse mediante diversos mecanismos y el predominio de cualquiera de ellos depende de factores tales como el clima, el porcentaje de tiempo en cuestión, la distancia y la topografía del trayecto. A continuación se presentan los mecanismos de propagación de interferencia más significativos, los cuales pueden llegar a presentarse de forma separada o simultánea en un trayecto.

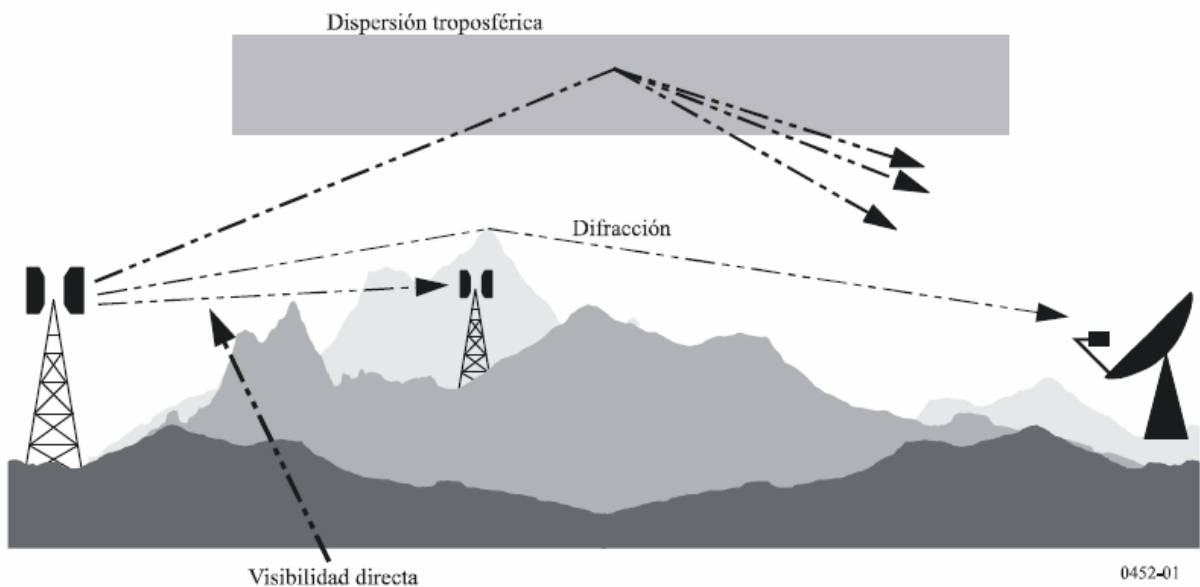


Figura 6-6: Mecanismos permanentes de propagación de la interferencia.

- Visibilidad directa (Line of Sight): Cuando existe una visibilidad mutua, se da el mecanismo de propagación de interferencia más directo, ésta se da en condiciones atmosféricas de equilibrio. Sin embargo, hay diversas condiciones que pueden aumentar el nivel de la señal, como los efectos de propagación multitrayecto y de enfoque, considerando trayectos mayores de unos 5 km.

- Difracción: Los efectos de difracción suelen ser dominantes cuando aparecen niveles significativos de la señal. Para los servicios en los que los problemas de anomalías de corta duración no son importantes, la exactitud del modelo de difracción determina a menudo la densidad de los sistemas que pueden implementarse. La capacidad de predicción de la difracción debe ser tal que permita incluir las situaciones de terreno liso, de obstáculos discretos y de terreno irregular.
- Dispersión troposférica: Este mecanismo define el nivel de interferencia de fondo para trayectos más largos, entre 100 y 150 km, en los que el campo de difracción se hace muy débil. Sin embargo, generalmente la interferencia a través de este mecanismo suele tener un nivel demasiado reducido como para ser considerada significativa.
- Propagación por conductos de superficie: Éste es el mecanismo de interferencia de corta duración más importante sobre el agua y en zonas de tierra costeras planas, y puede dar lugar a niveles de señal elevados en distancias largas de más de 500 km sobre el mar. Dichas señales pueden exceder el nivel equivalente de “espacio libre” en determinadas condiciones.
- Reflexión y refracción en capas elevadas: Estos mecanismos pueden tener repercusiones significativas en distancias bastante largas, aproximadamente de entre 250 a 300 km. Su tratamiento en capas de alturas de hasta algunos cientos de metros reviste gran importancia, ya que pueden hacer que las señales superen las pérdidas de difracción del terreno en situaciones favorables de geometría del trayecto.
- Dispersión por hidrometeoros: Éste mecanismo puede ser una fuente potencia de interferencia entre transmisores de enlaces terrenales y estaciones terrenas porque puede actuar prácticamente de forma omnidireccional y, por tanto, puede tener una repercusión más allá del trayecto de interferencia del círculo máximo. No obstante, los niveles de señal de interferencia son bastante reducidos y no suelen representar un problema significativo.

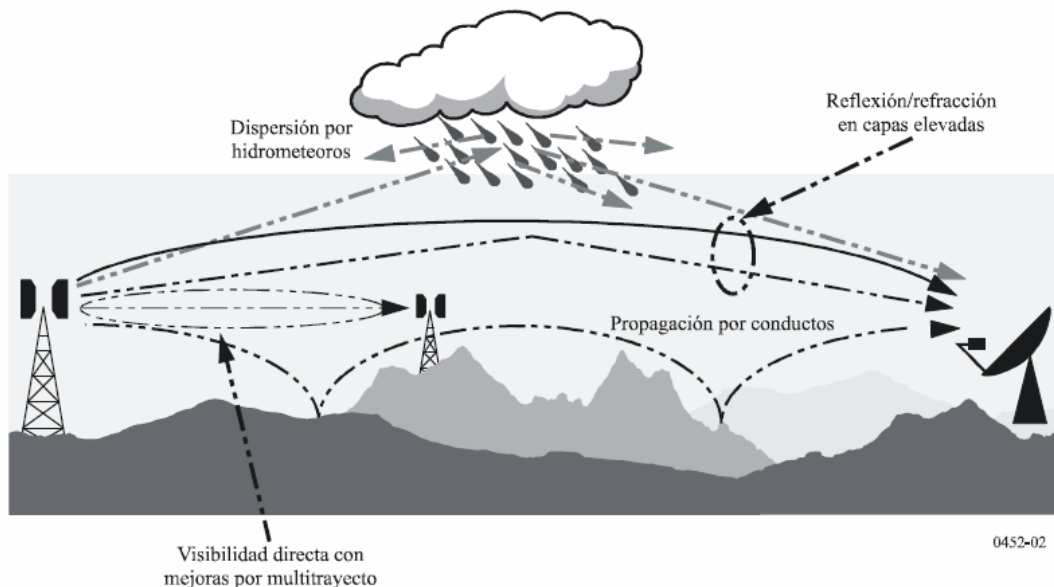


Figura 6-7: Mecanismos de propagación anómala de la interferencia (corta duración).

Un problema fundamental en la predicción de la interferencia es la dificultad de establecer un conjunto coherente y unificado de métodos prácticos que abarquen una amplia gama de distancias y porcentajes de tiempo, es decir; para la atmósfera real en la que un mecanismo que predomina se mezcla gradualmente con otro a medida que cambian las condiciones meteorológicas y/o del trayecto. Especialmente en estas regiones de transición, puede producirse un nivel determina-

do de señal durante un porcentaje del tiempo total que se deba a la suma de los distintos mecanismos. El enfoque aplicado en este procedimiento ha consistido en definir métodos totalmente distintos para la predicción de la interferencia debida a la dispersión por hidrometeoros y en cielo despejado.

6.4.2 Método de predicción de interferencia en cielo despejado

El método correspondiente al cielo despejado consiste en usar modelos distintos para la difracción, la reflexión en capas/ por conductos, y la dispersión troposférica. Los tres modelos se aplican en cada caso, independientemente de que el trayecto sea con visibilidad directa o transhorizonte. Luego se combinan los resultados en una predicción global utilizando una técnica de fusión que asegura para cualquier distancia de trayecto y porcentaje de tiempo dados que la amplificación de la señal en el modelo de línea de visibilidad directa teórico equivalente es la más alta que se puede alcanzar.

Antes de realizar la predicción, se requieren algunos datos, a continuación se mencionan los más importantes:

- Frecuencia de operación dada en GHz
- Radio efectivo de la Tierra para el trayecto.
- Latitud y longitud de la estación interferente y la estación interferida
- Altura del centro de la antena sobre el nivel del suelo y sobre el nivel medio del mar para las dos estaciones
- Ganancia de la antena en la dirección del horizonte para cada estación.
- Porcentaje de tiempo requerido durante el cual no se rebasa la pérdida básica de transmisión

Teniendo estos datos, se requiere seleccionar una predicción de año medio o de mes más desfavorable, de acuerdo a la calidad total del sistema radioeléctrico interferido en el extremo receptor del trayecto de interferencia.

Ahora se requiere tener a la mano tres parámetros radiometeorológicos para describir la variabilidad de las condiciones de propagación de fondo y anómala en los diferentes lugares del mundo:

- La proporción de variación del índice medio de refracción radioeléctrica a lo largo del primer kilómetro de la atmósfera (ΔN), con unidades [N/km].
- El porcentaje de tiempo en el que pueden esperarse, en los primeros 100 m de una atmósfera baja, sobretasas de la variación de la refracción superiores a 100 unidades N/km en la atmósfera inferior (β_0)
- Refractividad de la superficie a nivel del mar (N_0), con unidades [N].

Para ΔN y N_0 , existen ciertos mapas que muestran los datos radiometeorológicos para proporcionar la variación básica de las predicciones respecto a la localización, un ejemplo de estos se tiene en el Apéndice 1 al Anexo 1 de la Recomendación de la UIT-R P.452-14.

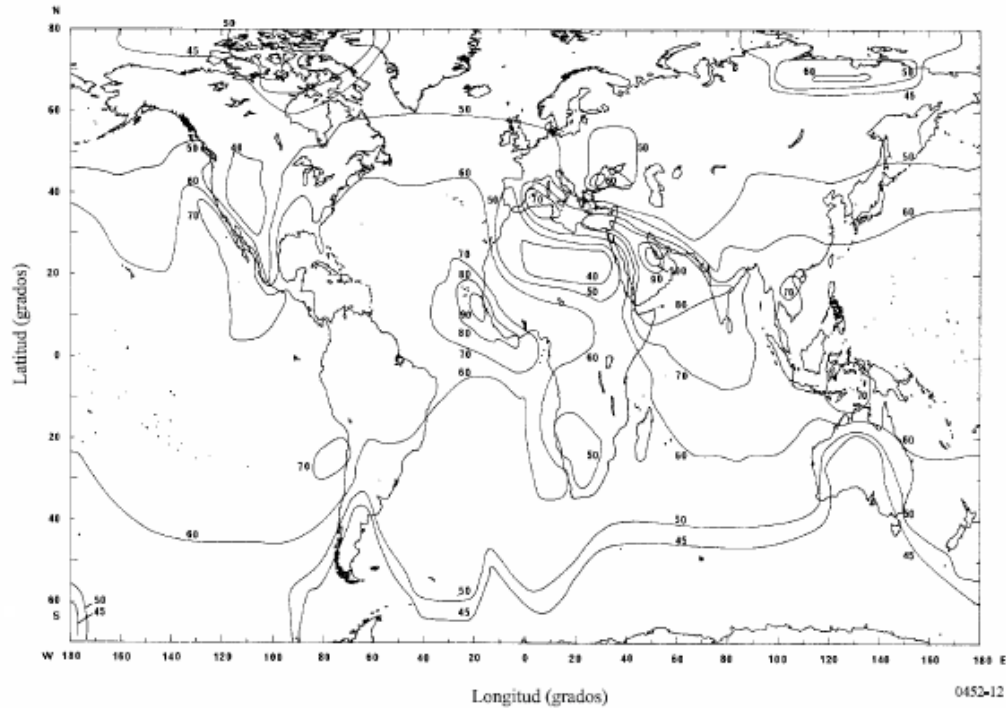


Figura 6-8: Valores máximos de media anual de ΔN (para la predicción del mes más desfavorable).

Otra cuestión a considerar es la necesidad de definir las zonas radioclimáticas, que se dividen en tres tipos:

- Tierra costera (A1): Zonas costeras y del litoral, es decir la tierra adyacente al mar hasta una altitud de 100 m con respecto al nivel medio del mar o del agua pero hasta una distancia de 50 km desde la zona marítima más próxima. Las grandes zonas interiores superiores a 7800 km² que comprendan más del 50% de agua y al mismo tiempo más del 90% de la tierra no alcanza la altitud descrita pertenecerán a la Zona A1.
- Tierra interior (A2): Tierra, a excepción de las zonas costeras y del litoral definidas como "tierra costera"
- Mar (B): Mares, océanos y otras grandes masas de agua (cuya cobertura equivalga a un círculo de al menos 100 km de diámetro). Dentro de esta Zona B, se consideran a las grandes masas de agua interiores, que son superficies de al menos 7800 km², excluyendo la superficie de ríos. Considerando a las islas con elevaciones inferiores a 100 m sobre el nivel medio del mar en más del 90% de su superficie.

Por último, antes de realizar la predicción, se requiere un análisis del perfil del trayecto relativo a las elevaciones del terreno situadas por encima del nivel del mar. Estas elevaciones se obtienen a partir de las coordenadas geográficas de las estaciones interferente e interferida a lo largo del trayecto de círculo máximo a partir de una base de datos topográfica de los correspondientes mapas de contorno a gran escala. La distancia entre puntos del perfil debería reflejar en la medida de lo posible las características más importantes del terreno. El perfil debería incluir como puntos de partida y de llegada las elevaciones del terreno en los emplazamientos de las estaciones interferente e interferida.

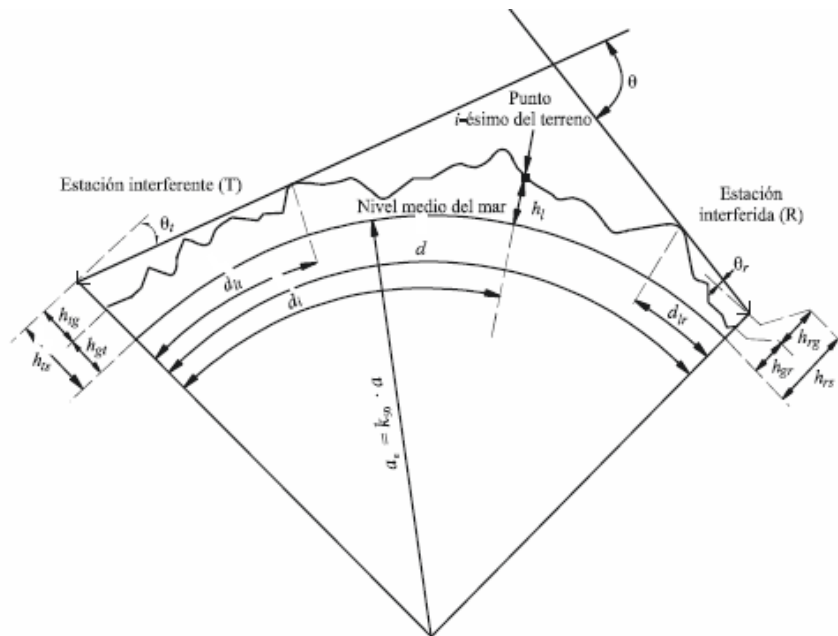


Figura 6-9: Ejemplo de un perfil de trayecto transhorizonte.

Para realizar la predicción se obtiene la pérdida de transmisión básica, L_b [dB], no rebasada durante el porcentaje de tiempo anual requerido, p , evaluada en cada modelo de propagación.

6.4.3 Modelos de predicción para la propagación en cielo despejado

- Propagación con visibilidad directa (incluyendo efectos a corto plazo): Evalúa, tanto para trayectos con visibilidad directa como transhorizonte, la pérdida de transmisión básica debida a la propagación en el espacio libre y la atenuación por gases atmosféricos.
- Difracción: La variabilidad temporal del exceso de pérdidas debidas al mecanismo de difracción se supone que es el resultado de cambios en el índice de variación global de la refractividad radioeléctrica atmosférica. Este proceso se considera válido para $\beta_0 \leq p \leq 50\%$.

Para el cálculo de la pérdida de difracción se utiliza un método híbrido, basado en la construcción Deygout y una corrección empírica, que permite hacer una estimación para todos los tipos de trayecto, con inclusión de trayectos sobre el mar o sobre superficies interiores o litorales costeros, e independientemente del hecho de que la superficie sea plana o accidentada.

- Dispersión troposférica: Para porcentajes de tiempo muy inferiores al 50%, es difícil separar el modo real de dispersión troposférica de otros fenómenos de propagación secundaria que pueden dar lugar a efectos similares de propagación, por ello es conveniente enlazarlo con el modelo explicado a continuación.
- Propagación por conductos y por reflexión en las capas: Evalúa las pérdidas básicas de transmisión que se producen durante periodos de propagación anómala.
- Pérdidas adicionales debidas a la ocupación del suelo y el modelo de altura-ganancia: En términos de protección contra la interferencia, puede obtenerse una ventaja considerable de las pérdidas de difracción adicionales que pueden insertarse en antenas localizadas en zonas

con cierto grado de ocupación del suelo (edificios, vegetación, etc.). Este procedimiento permite añadir dichas pérdidas debidas a la ocupación del suelo en uno o ambos extremos del trayecto, en aquellas situaciones en que se conocen las características de ocupación del suelo. Éste predice una pérdida adicional máxima en cada uno de los extremos del trayecto, aplicada mediante una función de interpolación con forma de S destinada a evitar una sobreestimación de la pérdida por apantallamiento. La pérdida adicional máxima es de 20 dB por encima de 0.9 GHz, que disminuye paulatinamente a frecuencias inferiores hasta 5 dB a 0.1 GHz. Cuando hay dudas en cuanto a la naturaleza de la ocupación del suelo, no deben incluirse estas pérdidas adicionales. Si se utiliza la corrección, no cabe esperar grandes pérdidas por ocupación de suelo en las zonas urbanas de edificios muy altos que están separados por espacios abiertos. En tales zonas suelen observarse menores pérdidas de éste tipo que en los centros urbanos más tradicionales formados por bloques de edificios más bajos pero más juntos.

La protección adicional disponible depende de la altura y, por tanto, su modelo es una función de altura-ganancia normalizada respecto a la altura nominal de la ocupación del suelo.

Una vez que se tiene la pérdida de transmisión básica entre las dos estaciones. A fin de calcular el nivel de señal en una estación debido a la interferencia de la otra es necesario conocer la pérdida de transmisión, que tiene en cuenta las ganancias de antena de las dos estaciones situadas en la dirección del trayecto radioeléctrico, es decir, la interferencia entre ambas.

La pérdida en la transmisión resultante, L , se obtiene con la fórmula:

$$L = L_b(p) - G_t - G_r$$

Donde:

$L_b(p)$ = pérdida de transmisión básica obtenida de los modelos de predicción para la propagación en cielo despejado.

G_t, G_r = Las ganancias de las dos estaciones

6.4.4 Predicción de la interferencia por dispersión debida a los hidrometeoros

Este método expresa directamente las pérdidas de transmisión entre dos estaciones, ya que exige conocer los diagramas de radiación de las antenas interferente e interferida para cada estación.

El método es bastante general puesto que puede utilizarse con cualquier diagrama de radiación de antena que proporcione un método de determinación de la ganancia de antena para cualquier ángulo con respecto al eje de puntería de la misma. A su vez, no está restringido a ninguna geometría en particular, siempre que se disponga de los diagramas de radiación de antena con una cobertura de $\pm 180^\circ$. Por consiguiente, incluye los acoplamientos haz principal a haz principal y lóbulo lateral a haz principal, y las geometrías de dispersión de círculo máximo y dispersión lateral. El método puede calcular los niveles de interferencia para geometrías de trayectos largos (> 100 km) y de trayectos cortos (hasta unos pocos kilómetros) con ángulos de elevación y acimutales arbitrarios en cualquiera de las estaciones. Por lo tanto, la metodología es adecuada para un amplio caso de hipótesis y servicios, incluida la determinación de la interferencia por dispersión debida a la lluvia entre dos estaciones terrenales, entre una estación terrenal y una estación terrena y entre dos estaciones terrenales que funcionen en bandas de frecuencias atribuidas bidireccionalmente.

La metodología se basa en la aplicación de la ecuación de radar biestático, que relaciona la potencia P_r que llega a una estación receptora procedente de la dispersión debida a la lluvia con la potencia P_t transmitida por una estación transmisora:

$$P_r = P_t \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3} \iiint_{\text{todo el espacio}} \frac{G_t G_r \eta A}{r_t^2 r_r^2} dV \quad [W]$$

Donde: λ : longitud de onda
 G_t : ganancia (lineal) de la antena transmisora
 G_r : ganancia (lineal) de la antena receptora
 η : sección transversal de dispersión por unidad de volumen ∂V (m^2/m^3)
 A : atenuación a lo largo del trayecto del transmisor al receptor (lineal)
 r_t : distancia del transmisor al elemento de volumen de dispersión
 r_r : distancia del elemento de volumen de dispersión al receptor

Expresada en términos de pérdidas de transmisión (dB), para la dispersión entre dos estaciones, Estación 1 y Estación 2, por lo que la ecuación queda como:

$$L = 208 - 20 \log f - 10 \log Z_R - 10 \log C + 10 \log S + A_g - M$$

Donde: f : frecuencia (GHz)
 Z_R : reflectividad del radar a nivel de suelo, que puede expresarse en términos de la intensidad de lluvia R (mm/h):
 $Z_R = 400 R^{1.4}$
 $10 \log S$: factor de corrección (dB), que tiene en cuenta la desviación con respecto a la dispersión de Rayleigh en frecuencias superiores a 10 GHz.
 A_g : atenuación debida a los gases atmosféricos a lo largo del trayecto del transmisor al receptor (dB).
 M : cualquier desadaptación de la polarización entre los sistemas de transmisión y recepción (dB)

En este caso, la dispersión está confinada a la que se produce en el interior de una célula de lluvia, que se define como una sección transversal circular con un diámetro que depende de la intensidad de lluvia:

$$d_c = 3.3R^{-0.08}$$

Dentro de la célula de lluvia, la intensidad de lluvia, y por consiguiente la reflectividad del radar, se supone constante hasta la altura de la lluvia, h_R . Por encima de dicha altura, se supone que la reflectividad disminuye linealmente con la altura a un ritmo de -6.5dB/km.

La función de transferencia de la dispersión C , es la integral de volumen a lo largo de la célula de lluvia y puede expresarse, coordenadas cilíndricas, de la forma siguiente:

$$C = \int_0^{h_{\max}} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{d_c}{2}} \frac{G_1 G_2}{r_1^2 r_2^2} A \zeta \cdot r dr d\phi dh$$

Donde: G_1 : ganancia (lineal) de la Estación 1

G_2 : ganancia (lineal) de la Estación 2

r_1 : distancia desde el elemento de integración ∂V a la Estación 1

r_2 : distancia desde el elemento de integración ∂V a la Estación 2

A: atenuación debida a la lluvia, tanto dentro como fuera de la célula de lluvia.

ζ : dependencia con la altura de la reflectividad del radar:

$$\zeta = \begin{cases} 1 & \text{para } h \leq h_R \\ 10^{-0.65(h-h_R)} & \text{para } h > h_R \end{cases}$$

h_R : altura de la lluvia (km)

r, φ, h : variables de integración dentro de la célula de lluvia.

La integración se realiza numéricamente, en coordenadas cilíndricas. Sin embargo, es conveniente considerar inicialmente la geometría de la dispersión desde la estación transmisora a través de una célula de lluvia hasta la estación receptora, en términos de un sistema de coordenadas Cartesiano tomando como origen a la Estación 1, ya que la posición real de la célula de lluvia no vendrá definida inmediatamente, especialmente en el caso de dispersión lateral.

En la referencia de coordenadas Cartesianas es conveniente, para mayor sencillez, convertir en primer lugar los diversos parámetros geométricos de sus valores reales referidos a una Tierra curva a los valores que se obtendrían en una representación plana de la Tierra.

La existencia de un acoplamiento de haz principal a haz principal entre las antenas se establece a partir de la geometría y la célula de lluvia se sitúa en el punto de intersección entre los ejes del haz principal. Si no existe acoplamiento de haz principal a haz principal, la célula de lluvia se sitúa a lo largo del eje del haz principal de la Estación 1, centrada en el punto más próximo al eje del haz principal de la Estación 2. En este caso, las pérdidas de transmisión deben determinarse para un segundo caso intercambiando los parámetros de cada estación y tomando como representante las pérdidas de caso más desfavorable de los niveles de interferencia probables.

6.5 Interferencia entre estaciones terrenas

6.5.1 Ganancia de antena hacia el horizonte para una estación terrena

El componente de ganancia de antena de la estación terrena en la dirección del horizonte físico alrededor de una estación terrena es una función de la separación angular entre el eje del haz principal de la antena y el horizonte en la dirección considerada. Cuando la estación terrena se utiliza para transmitir a una estación espacial en una órbita ligeramente inclinada, hay que considerar todas las posibles direcciones de puntería del eje del haz principal de la antena. Para la coordinación de estaciones terrenas, se requiere para cada acimut conocer $\phi(\alpha)$, el valor posible mínimo de la separación angular que se producirá durante el funcionamiento del satélite.

Cuando una estación espacial geoestacionaria mantiene su ubicación próxima a su posición orbital nominal, el ángulo de elevación del eje del haz principal de la estación terrena, ϵ_s , y el ángulo acimutal, α_s , hasta el satélite desde la latitud de la estación terrena, ζ , están relacionados de manera unívoca.

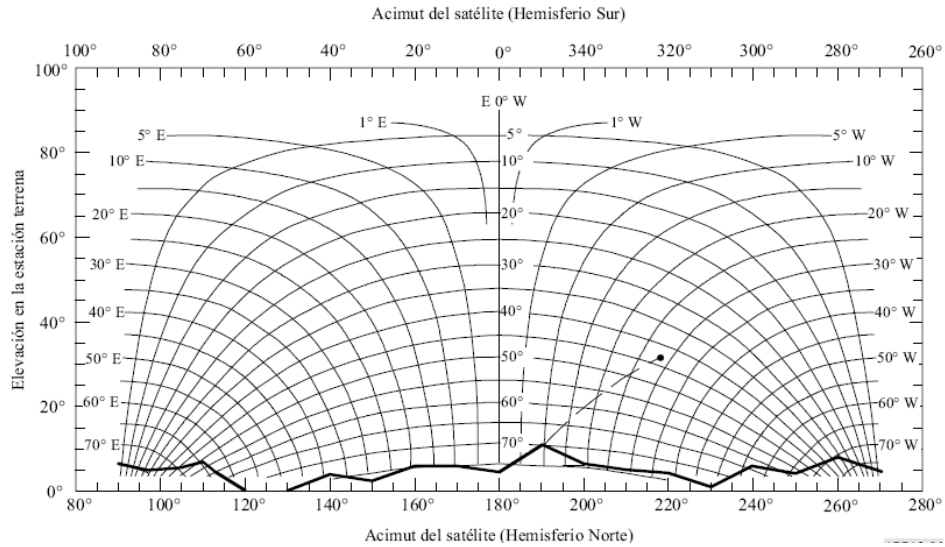


Figura 6-10: Arcos de posición de satélites geostacionarios con el horizonte y el arco desde el horizonte en el acimut de 190° hacia un satélite situado a 28°W de una estación terrena en la latitud 43°N.

Cuando se relaja el mantenimiento en posición norte/sur de un satélite geostacionario, la órbita del satélite se inclina, con una inclinación que aumenta gradualmente en función del tiempo. Vista desde la Tierra, la posición del satélite traza una figura de ocho durante cada periodo de 24 h.

La relación $\phi(\alpha)$ se utiliza para derivar una función para la ganancia de la antena (dBi), $G(\phi)$, hacia el horizonte, en función del acimut α , utilizando el diagrama de radiación de antena real de la estación terrena, o una fórmula que dé una buena aproximación. Por ejemplo, cuando la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda es igual o mayor que 35, se utiliza la siguiente ecuación:

$$G(\phi) = \begin{cases} G_{am\acute{a}x} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\right)^2 & \text{para } 0 < \phi < \phi_m \\ G_1 & \text{para } \phi_m \leq \phi < \phi_r \\ 29 - 25 \log \phi & \text{para } \phi_r \leq \phi < 36^\circ \\ -10 & \text{para } 36^\circ \leq \phi \leq 180^\circ \end{cases}$$

$$G_1 = \begin{cases} -1 + 15 \log(D/\lambda) & \text{dBi} & \text{para } D/\lambda \geq 100 \\ -21 + 25 \log(D/\lambda) & \text{dBi} & \text{para } 35 \leq D/\lambda < 100 \end{cases}$$

$$\phi_m = \frac{20 \lambda}{D} \sqrt{G_{am\acute{a}x} - G_1} \quad \text{grados}$$

$$\phi_r = \begin{cases} 15,85 (D/\lambda)^{-0,6} & \text{grados} & \text{para } D/\lambda \geq 100 \\ 100 (\lambda/D) & \text{grados} & \text{para } 35 \leq D/\lambda < 100 \end{cases}$$

Cuando se dispone de una representación mejor del diagrama real de la antena, éste puede ser utilizado.

Además de las interferencias provocadas por una estación terrena en satélites de redes adyacentes, se puede dar el caso de que, debido a una mala coordinación de las estaciones terrenas, se den casos de interferencia entre ellas (modo de interferencia).

Para evitar esto, es importante que en la zona que rodea a una estación terrena, al compartir la misma banda de frecuencias atribuida bidireccionalmente con otras estaciones terrenas, se tengan niveles de interferencia admisibles, a esta área se le conoce como zona de coordinación.

La determinación de ésta zona se basa en el concepto de la potencia interferida admisible en las terminales de la antena de una estación terrena receptora. Por consiguiente, la atenuación requerida para limitar el nivel de interferencia entre dos estaciones terrenas a la potencia de interferencia admisible durante p% del tiempo se representa mediante la “atenuación requerida mínima”, que es la atenuación que tiene que ser igualada o rebasada por la pérdida prevista en el trayecto durante todo el tiempo, salvo el p%.

Para el modo de propagación (1), se aplica la siguiente expresión:

$$L_b(p) = P_t + G_t + G_r - P_r(p)$$

Donde:

p: porcentaje de tiempo máximo durante el cual la potencia de interferencia admisible puede ser rebasada.

$L_b(p)$: atenuación requerida mínima (dB) del modo de propagación (1) durante el p% del tiempo; este valor debe ser rebasado por la pérdida prevista en el trayecto del modo de propagación (1) durante todo el tiempo, salvo p%.

P_t : nivel de potencia transmisora disponible máxima (dBW) en la anchura de banda de referencia en las terminales de la antena de una estación transmisora terrena.

$P_r(p)$: potencia de interferencia admisible de una emisión interferente (dBW) en la anchura de banda de referencia que no será rebasada durante más de p% en las terminales de la antena de una estación receptora terrena que puede sufrir interferencia, cuando la emisión interferente se origina de una sola fuente.

G_t : ganancia (dBi) de la antena de la estación transmisora terrena.

G_r : ganancia (dBi) de la antena de la estación receptora terrena que puede sufrir interferencia.

Cabe mencionar que la potencia de interferencia admisible $P_r(p)$ se especifica con respecto al porcentaje de tiempo real durante el cual el receptor está en funcionamiento, y no del tiempo transcurrido total.

Con el fin de facilitar la determinación de los valores de G_r que se han de utilizar en un acimut desde la estación transmisora terrena, se deben hacer varias aproximaciones simplificadoras:

- Que el ángulo de elevación del horizonte de la estación receptora terrena es 0° en todos los acimuts;
- Que la estación receptora terrena funciona con un satélite que tiene inclinación orbital de 0° y que puede estar situada en cualquier parte de la órbita geoestacionaria por encima del ángulo de elevación mínimo, para la ubicación de la estación receptora terrena;
- Que la latitud de la estación receptora terrena es igual que la de la estación transmisora terrena;
- Que se puede utilizar geometría plana para interrelacionar los ángulos de acimut en las estaciones terrenas respectivas.

Las primeras tres hipótesis proporcionan la base para determinar la ganancia hacia el horizonte de la estación terrena receptora en cualquier acimut. La hipótesis del ángulo de elevación hacia el horizonte de 0° es conservadora porque el aumento de la ganancia de antena hacia el horizonte debido a la elevación del horizonte, en la práctica sería mayor que el desplazamiento por cualquier apantallamiento de emplazamiento real. El error en la determinación de la ganancia de la antena de la estación receptora terrena, utilizando estas hipótesis, no rebasaría los 2 dB.

Para el modo de propagación (2), hay un proceso de dispersión de volumen y se precisa una modificación del método anterior. Cuando el haz de la antena de la estación terrena coordinadora intercepta una célula de lluvia, se puede formar un volumen común con un haz de la estación terrena (que funciona en el sentido de transmisión opuesto en bandas de frecuencias atribuidas bidireccionalmente). Por tanto, se supone que el haz de la estación terrena ilumina toda la célula de lluvia, que está representada por un cilindro vertical que contiene hidrometeoros que producen una dispersión isotrópica de las señales. Este proceso de dispersión puede originar el acoplamiento accidental entre la estación terrena coordinadora y las estaciones terrenas que funcionan en bandas de frecuencias atribuidas bidireccionalmente, a través del volumen común.

La ganancia de la antena de la estación terrena y su anchura de haz son interdependientes. El tamaño del volumen común y el número de señales que han experimentado dispersión en ese volumen aumentan a medida que disminuye la ganancia de antena de la estación terrena que transmite o recibe estas señales, y un efecto compensa el otro. Por consiguiente, en el procedimiento para evaluar la interferencia que pueden producir los mecanismos del modo de propagación (2), se puede hacer una hipótesis simplificadora de que la atenuación de trayecto es independiente de la ganancia de la antena de la estación terrena.

Esto se define con la expresión:

$$L_x(p) = P_t + G_x - P_r(p)$$

Donde:

$L_x(p)$: atenuación mínima requerida para el modo de propagación (2)

G_x : ganancia de antena máxima (dBi) supuesta para la estación receptora terrena

El contorno del modo de propagación (2) se determina utilizando el ángulo de elevación y el acimut desde la estación terrena transmisora coordinadora hacia la estación espacial, con las dos consideraciones siguientes:

- La distancia de coordinación mínima será la distancia requerida para algunos acimuts;
- Y una distancia requerida correspondiente al caso más desfavorable determinada por la geometría de la dispersión por hidrometeoros para una estación terrena receptora situada en uno de los dos sectores acimutales de 6°. Dentro de estos sectores, se supone que la estación terrena receptora está funcionando en el ángulo de elevación mínimo hacia una estación espacial en la órbita geoestacionaria y que su haz principal intersecta el haz para la estación transmisora coordinadora en el punto donde el segundo haz pasa a través de la altura de la lluvia, h_R . Aunque la dispersión se puede producir en cualquier parte entre la estación terrena coordinadora y este punto, la intersección de los dos haces en este punto representa el caso de interferencia más desfavorable. En consecuencia, el resultado es la distancia requerida del caso más desfavorable para estaciones terrenas receptoras situadas en los dos sectores acimutales.

6.5.2 Ajustes del ángulo de elevación hacia el horizonte y de la distancia de la estación terrena.

Para el modo de propagación (1), la distancia requerida depende de las características del horizonte físico alrededor de la estación terrena. El horizonte se caracteriza por la distancia hasta el horizonte, d_h y el ángulo de elevación del horizonte, ϵ_h . El ángulo de elevación del horizonte se define aquí como el ángulo (grados), visto desde el centro de la antena de la estación terrena, entre el plano horizontal y un rayo que roza el horizonte físico en la dirección en cuestión. El valor de ϵ_h es positivo cuando el horizonte físico está por encima del plano horizontal y negativo cuando está por debajo.

Es necesario determinar los ángulos de elevación del horizonte y las distancias para todos los acimuts alrededor de una estación terrena. En la práctica, en general basta hacer esto en incrementos de acimuts de 5° . Sin embargo, se debe intentar identificar, y tomar en consideración, los ángulos de elevación del horizonte mínimos que pueden producirse entre los acimuts examinados en incrementos de 5° .

También es útil separar los efectos de propagación relacionados con el horizonte local alrededor de la estación terrena que, en algunos o en todos los acimuts, puede estar determinado por colinas o montañas cercanas, de los efectos de propagación en el resto del trayecto. Esto se logra refiriendo el modelo de propagación a un ángulo de elevación del horizonte de 0° para la estación terrena coordinadora, e incluyendo después un término específico A_h para tratar las características conocidas del horizonte de la estación terrena que está siendo coordinada. Cuando proceda, A_h modifica el valor de la pérdida de trayecto, en cada acimut, del cual se deriva la distancia requerida del modo de propagación (1).

Se han de considerar dos situaciones que puede cambiar el nivel de atenuación para la atenuación de trayecto del modo de propagación (1) para el caso de referencia de 0° :

- La primera es cuando la estación terrena coordinadora tiene un ángulo de elevación del horizonte positivo (en un determinado acimut). En este caso, aprovechará la atenuación de propagación adicional por difracción en el horizonte (lo que se denomina generalmente apantallamiento del emplazamiento). En consecuencia, la atenuación A_h es positiva y se reduce el valor de la atenuación de trayecto que se requiere, en comparación con el caso de referencia del ángulo de elevación del horizonte de 0° .
- La segunda situación es cuando la estación terrena coordinadora está en una ubicación por encima del primer plano local, y tiene un ángulo de elevación del horizonte negativo (hacia abajo) en un determinado acimut. En este caso, se necesita una medida de protección adicional, porque la distancia angular del trayecto a lo largo de la dirección radial se reduce y por tanto la pérdida de trayecto para una distancia dada será menor que para el caso del ángulo de elevación de 0° . Es conveniente tratar este efecto como parte del cálculo de apantallamiento del emplazamiento. Por consiguiente, en este caso la atenuación A_h será negativa y aumenta el valor de la atenuación de trayecto que se requiere, en comparación con el caso de referencia del ángulo de elevación del horizonte de 0° .

La contribución de la atenuación debida a las características del horizonte de la estación terrena coordinadora a la atenuación requerida mínima del modo de propagación (1) modifica el valor de la pérdida de trayecto que hay que calcular para los tres modelos del modo de propagación (1).

El valor de A_h se debe limitar para satisfacer las condiciones:

$$-10 \leq A_h \leq (30 + \varepsilon_h)$$

6.5.3 Límite de potencia y de ángulo de elevación para las estaciones terrenas

La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) emitida en cualquier dirección hacia el horizonte por una estación terrena no debe exceder de los siguientes límites:

- a) En las bandas de frecuencias comprendidas entre 1 GHz y 15 GHz:
+40 dBW en cualquier banda de 4 kHz de anchura, para $\varepsilon_h \leq 0^\circ$
+40 + 3 ε_h dBW en cualquier banda de 4 kHz de anchura, para $0^\circ < \varepsilon_h \leq 5^\circ$; y
- b) En las bandas de frecuencias superiores a 15 GHz:
+64 dBW en cualquier banda de 1 MHz de anchura, para $\varepsilon_h \leq 0^\circ$
+64 + 3 ε_h dBW en cualquier banda de 1 MHz de anchura, para $0^\circ < \varepsilon_h \leq 5^\circ$,

En el caso de ángulos de elevación del horizonte superior a 5° , no existen limitaciones para el PIRE, emitido por una estación terrena.

Los límites indicados, pueden excederse en 10 dB como máximo, sin embargo, si se llegase a extender la cobertura hacia otro país, se tendría que dar la aprobación de la administración del país afectado para poder aumentar esta cobertura.

Por otro lado, las antenas de las estaciones terrenas no pueden utilizarse para la transmisión con ángulos de elevación inferiores a 3° , medidos desde el plano horizontal en la dirección de radiación máxima. Esto también es válido en el caso de antenas receptoras de estaciones terrenas.

6.5.4 Cálculo de la potencia de interferencia admisible de una emisión interferente

Para calcular la potencia de interferencia admisible de la emisión interferente, en la anchura de banda de referencia, que no se ha de rebasar durante más del p% del tiempo en la terminal de la antena receptora, teniendo en cuenta la interferencia procedente de una sola fuente, se utiliza la fórmula:

$$P_r(p) = 10 \log(kT_e B) + N_L + 10 \log(10^{M_s/10} - 1) - W \quad [\text{dBW}]$$

Donde:

K: constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K)

T_e : temperatura de ruido térmico del sistema receptor (K), en la terminal de la antena receptora.

N_L : contribución de ruido del enlace.

En el caso de un transpondedor de satélite, incluye el ruido del enlace ascendente, la intermodulación, etc. En ausencia de indicaciones, se supone un valor de $N_L = 1$ dB, únicamente para enlaces fijos por satélite.

B: ancho de banda de referencia (Hz), es decir, el ancho de banda en la estación receptora que está sujeto a interferencia y en el cual se puede promediar la potencia de la emisión interferente.

p: porcentaje de tiempo durante el cual la interferencia de una fuente puede rebasar el valor de potencia de interferencia admisible; como no es probable que las entradas de interferencia se produzcan simultáneamente:

$$p = p_0/n$$

p_0 : porcentaje de tiempo durante el cual la interferencia de todas las fuentes puede rebasar el valor umbral.

n: número de fuentes de interferencia de igual nivel y de igual probabilidad, que se supone no están correlacionadas durante pequeños porcentajes del tiempo.

M_s : margen de funcionamiento del enlace (dB)

El factor M_s es el factor por el cual habría que aumentar el ruido del enlace con condiciones de cielo despejado para igualar la potencia de interferencia admisible.

W: factor de equivalencia de ruido térmico (dB) para emisiones interferentes en el ancho de banda de referencia. Es positivo cuando las emisiones interferentes causan más degradación que el ruido térmico.

El factor W (dB) es el nivel de la potencia de ruido térmico de radiofrecuencia con respecto a la potencia recibida de una emisión interferente que, en lugar de la anterior y contenida en el mismo ancho de banda (de referencia), produciría la misma interferencia (por ejemplo, un aumento en la potencia de ruido del canal vocal o vídeo, o de la proporción de bits erróneos). El factor W generalmente depende de las características de las señales deseada e interferente.

Cuando la señal deseada es digital, W suele ser igual o menor que 0 dB, prescindiendo de las características de la señal interferencia.

La temperatura de ruido del sistema receptor, referida a las terminales de salida de la antena receptora, puede ser determinada a partir de:

$$T_e = T_a + (\ell_{t1} - 1)290 + \ell_{t1}T_r \quad [\text{K}]$$

Donde:

T_a : contribución de la temperatura de (K) ruido de la antena receptora.

ℓ_{t1} : valor numérico de la pérdida en la línea de transmisión entre la terminal de la antena y la etapa de entrada de receptor.

T_r : temperatura de ruido (K) de la etapa de entrada del receptor, incluidas todas las etapas sucesivas.

Cuando se determinan los contornos de coordinación entre dos estaciones terrenas que funcionan en el sentido de transmisión opuesto, se deben utilizar las siguientes temperaturas de ruido del sistema receptor de la estación terrena:

Gama de Frecuencias (GHz)	T_e (K)
$f < 10$	75
$10 < f < 17$	150
$f > 17$	300

Tabla 1: Temperatura de ruido equivalente para el sistema receptor de estaciones terrenas.