

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1107-1*

**Análisis probabilístico para calcular la interferencia al servicio fijo
causada por satélites que ocupan la órbita geoestacionaria**

(Cuestión UIT-R 223/9)

(1994-2002)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) ha atribuido a varios servicios por satélite, que funcionan en la órbita geoestacionaria, espectro que está atribuido también al servicio fijo;
- b) que las emisiones de estaciones espaciales que funcionan en la órbita geoestacionaria y comparten el mismo espectro pueden producir interferencia a estaciones receptoras del servicio fijo;
- c) que puede no ser práctico efectuar la coordinación entre las numerosas estaciones terrenales y las numerosas estaciones espaciales y que, por tanto, deben establecerse criterios de compartición para excluir la necesidad de una coordinación detallada;
- d) que al desarrollar estos criterios de compartición, hay que tener en cuenta las necesidades operacionales y técnicas de las redes de servicios por satélite, así como las necesidades del servicio fijo y las medidas disponibles;
- e) que se ha determinado que los criterios de compartición elaborados a partir de una base probabilística dan como resultado una utilización más eficaz del espectro que los criterios formulados utilizando el análisis del caso más desfavorable;
- f) que es difícil y gravoso reunir suficiente información estadísticamente exacta sobre las estaciones reales existentes y proyectadas de sistemas terrenales y por satélite;
- g) que las simulaciones por computador del servicio fijo y de los servicios por satélite que funcionan en la órbita geoestacionaria pueden generar información estadísticamente exacta adecuada para determinar criterios de compartición en una amplia variedad de situaciones de compartición,

recomienda

- 1** que la información obtenida a partir de simulaciones por computador del servicio fijo y de servicios por satélite que funcionan en la órbita geoestacionaria y utilizan el mismo espectro puede ser adecuada para elaborar criterios de compartición;
- 2** que se tenga en cuenta el material del Anexo 1 al obtener información para formular criterios de compartición;
- 3** que, al elaborar criterios de compartición respecto a los sistemas digitales del servicio fijo, se tenga en cuenta el Anexo 2.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4 (GT 4-9S), 6 (GT 6S), 7 y 8 (GT 8D) de Radiocomunicaciones.

ANEXO 1

Método para elaborar criterios de compartición destinados a proteger el SF contra emisiones de estaciones espaciales que funcionan en la órbita geoestacionaria**1 Introducción**

La CAMR-92 atribuyó al servicio de radiodifusión por satélite (radiodifusión sonora y de televisión), al servicio móvil por satélite y a los servicios científicos espaciales espectro que es compartido también por el servicio fijo. Asimismo, la CAMR-92 aprobó varias Resoluciones y Recomendaciones en las que se pide al UIT-R que resuelva los aspectos de compartición resultantes de las distintas atribuciones. En este Anexo se describe una metodología que ayudará a elaborar criterios de compartición entre el servicio fijo y los servicios por satélite prestados desde la órbita geoestacionaria.

En la Recomendación UIT-R SF.358 se proponen niveles de densidad de flujo de potencia (dfp) de protección para el servicio fijo en algunas porciones del espectro. De igual manera, el Cuadro 21.4 del Artículo 21 del Reglamento de Radiocomunicaciones establece límites definitivos de dfp para bandas similares. Sin embargo, ninguna referencia consigna todas las bandas indicadas por la CAMR-92 ni proporciona información suficiente sobre cómo extender los criterios, de otra manera que no sea por extrapolación, a diferentes situaciones de compartición de los servicios fijos y por satélite.

En el Apéndice 1 al Anexo 1 de la Recomendación UIT-R SF.358 sí se indica que son aceptables los métodos de simulación estadística para determinar los niveles de dfp con miras a proteger al servicio fijo contra los satélites que funcionan en la órbita geoestacionaria, pero no proporciona una metodología detallada para elaborar los datos. En el presente Anexo se describen las consideraciones relativas a la geometría necesarias para calcular los datos. Se proporciona también una descripción y el código de origen del lenguaje básico para un programa que puede generar datos representativos de muchas de las situaciones de compartición que existen actualmente o que resultarán de las atribuciones hechas por la CAMR-92. Se pueden analizar los datos resultantes del programa para determinar los efectos de los niveles de dfp de los satélites sobre el servicio fijo en varios casos. Las diferencias de las situaciones pueden ser determinadas por parámetros que el usuario introduce en el programa. En el Apéndice 1 al presente Anexo se proporcionan algunos ejemplos sobre cómo se pueden utilizar los datos del programa de simulación para ayudar a resolver los aspectos resultantes de las atribuciones de la CAMR-92 u otros similares.

2 Consideraciones relativas a la geometría

Para calcular la interferencia causada a una red inalámbrica fija por los satélites en la órbita geoestacionaria, es necesario identificar todos los satélites visibles para cada estación de la red. Esto se puede realizar determinando los límites de la órbita geoestacionaria visible para cada estación y, en consecuencia, todos los satélites entre estos límites serían visibles.

La Fig. 1 proporciona una representación de la geometría de la órbita geoestacionaria y una estación de la red inalámbrica fija. Algunos de los importantes parámetros que se necesitan para calcular la interferencia a dicha estación son:

- θ : ángulo de elevación del satélite por encima del horizonte
- β : arco esférico subtendido por el punto subsatelital, S' , y la estación radioeléctrica fija, P
- Ω : ángulo subtendido por β visto desde el satélite, S.

Si la antena del relevador radioeléctrico tiene una elevación de 0° y no se conoce la difracción, el desplazamiento acimutal A , medido desde el Sur, a la intersección del horizonte con la órbita geostacionaria se puede calcular como sigue:

$$|A| = \cos^{-1} (\operatorname{tg} \varphi / (K^2 - 1)^{1/2}) \quad (1)$$

donde:

$$K = R/a$$

a : radio de la Tierra

R : radio de la órbita geostacionaria

φ : latitud de la estación de la red radioeléctrica fija.

La separación longitudinal relativa entre la estación radioeléctrica y la ordenada plano horizontal/órbita geostacionaria puede expresarse como sigue:

$$\lambda = \operatorname{sen}^{-1} (\operatorname{sen} A (1 - K^{-2})^{1/2}) \quad (2)$$

Como la órbita estacionaria visible es simétrica alrededor de la línea acimutal de 0° , el número total de satélites visibles para la estación aparecerá en el tramo longitudinal de la órbita igual a 2λ .

El acimut A_z para cada satélite visible es:

$$A_z = \operatorname{tg}^{-1} (\operatorname{tg} \lambda_r / \operatorname{sen} \varphi) \quad (3)$$

donde λ_r es la diferencia entre la longitud del satélite y la estación de la red radioeléctrica fija, es decir, la longitud relativa.

El UIT-R suele limitar o definir los niveles de dfp procedentes de un satélite en función del ángulo de elevación, θ . El ángulo puede determinarse como sigue:

$$\theta = (\pi/2) - (\beta + \Omega) \quad (4)$$

donde:

$$\beta = \cos^{-1} (\cos \varphi \cos \lambda_r) \quad (5)$$

$$\Omega = \operatorname{tg}^{-1} (\operatorname{sen} \beta / (K - \cos \beta)) \quad (6)$$

Generalmente, la densidad de flujo de potencia (pfd – power flux density) se define como sigue:

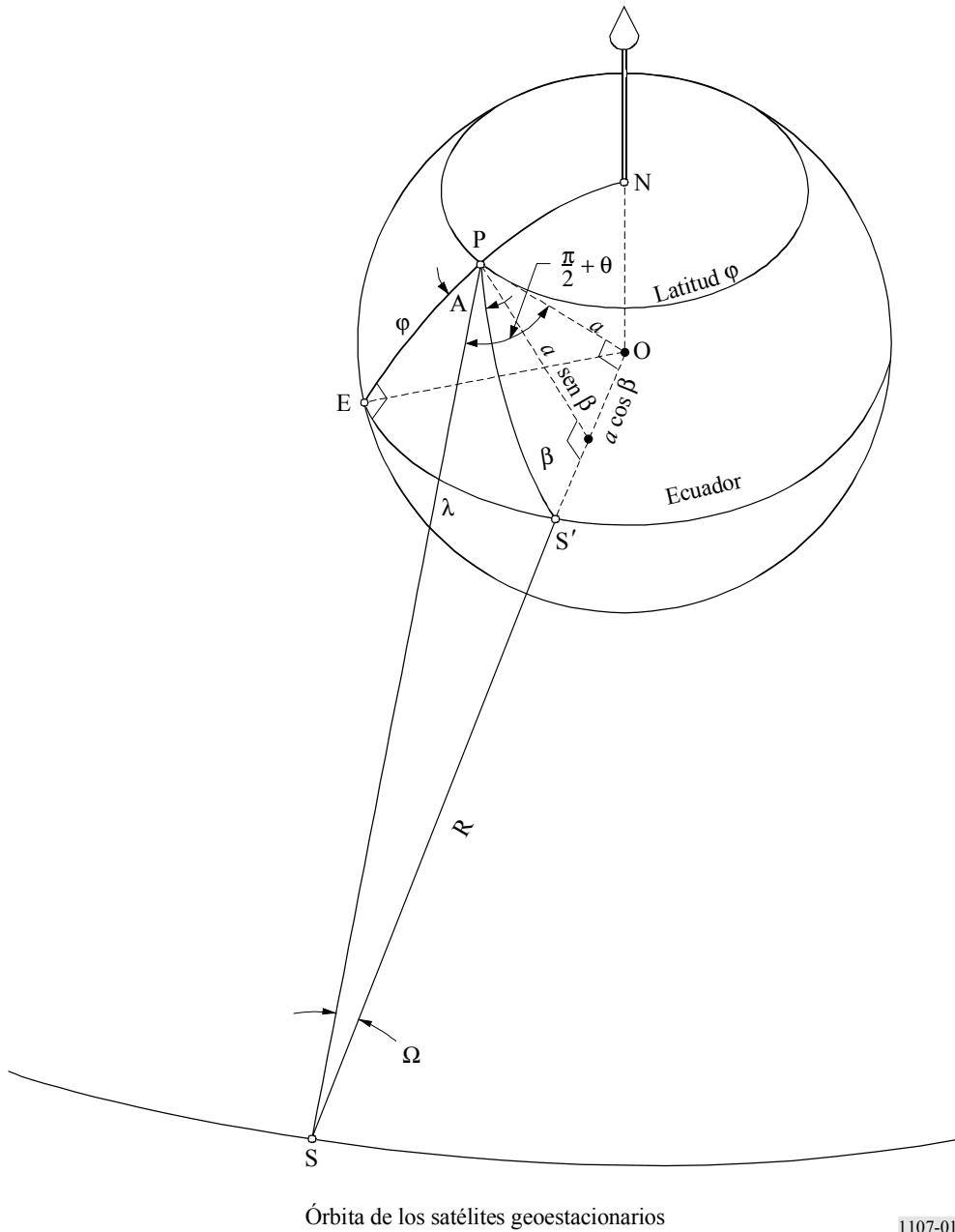
$$F(\theta) = \begin{cases} pfd_{low} & \text{para } 0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ \\ pfd_{low} + 0.05 (pfd_{hi} - pfd_{low}) (\theta - 5) & \text{para } 5^\circ \leq \theta \leq 25^\circ \\ pfd_{hi} & \text{para } 25^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (7)$$

donde:

pfd_{low} : nivel admisible para ángulos de llegada bajos, normalmente expresados en dB (1 W/m²) en una banda de 4 kHz

pfd_{hi} : nivel admisible para ángulos de llegada altos también expresado en dB (1 W/m²) en una banda de 4 kHz.

FIGURA 1
 Geometría de la órbita de los satélites geoestacionarios
 y una estación de la red inalámbrica fija

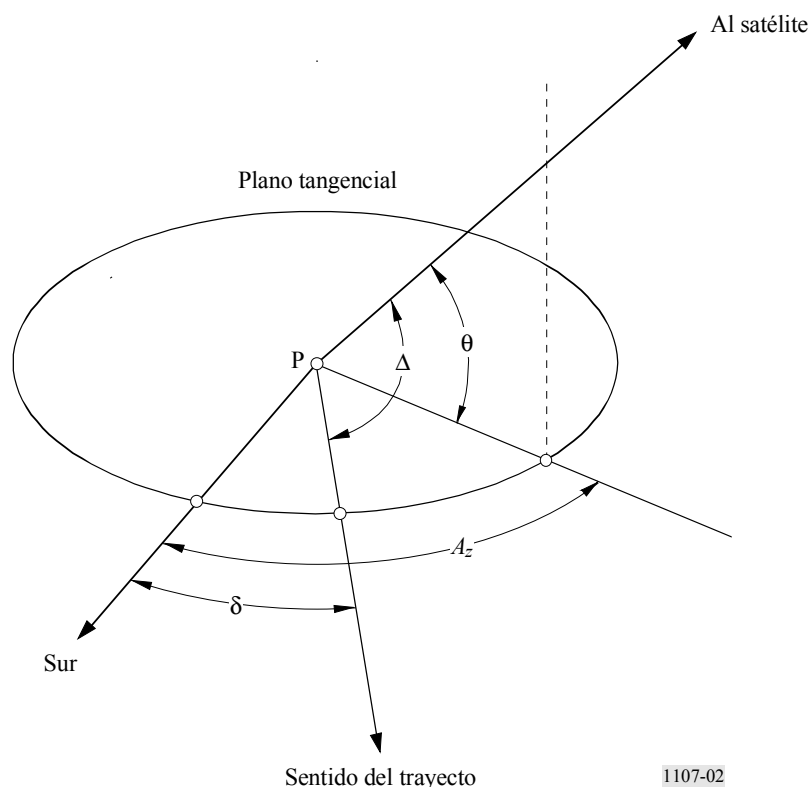


Por último, el ángulo Δ entre la incidencia del nivel de dfp del satélite interferente y la dirección de puntería del receptor de la estación de la red inalámbrica fija (véase la Fig. 2) se puede determinar mediante:

$$\Delta = \cos^{-1} (\cos \theta \cos (A_z - \delta)) \tag{8}$$

donde δ es la dirección de puntería del receptor de la estación de relevadores radioeléctricos con respecto al Sur.

FIGURA 2
Geometría que determina al ángulo fuera del haz en la dirección de un satélite



1107-02

Si se supone que la ganancia de la antena receptora de la red inalámbrica fija es igual en todos los planos (horizontal a vertical), la ganancia en la dirección del satélite, $G(\Delta)$, se puede determinar a partir de las ecuaciones de diagramas de ganancia de antena de la Recomendación UIT-R F.699.

3 Cálculos de interferencia

La potencia de interferencia total recibida en el receptor de la red inalámbrica fija se puede determinar sumando las contribuciones procedentes de cada satélite visible. Cada contribución se puede determinar como sigue:

$$I_B = f(\theta) \times g(\Delta) \times \lambda^2 / 4\pi h \tag{9}$$

donde:

$$f(\theta) = 10^{F(\theta)/10} \tag{10}$$

$$g(\Delta) = 10^{G(\Delta)/10} \tag{11}$$

λ : longitud de onda de la portadora

h : pérdida de la línea de alimentación.

La ecuación (9) contiene el factor $\lambda/4\pi h$ porque $f(\theta)$ se expresa en unidades de $W/(m^2 \cdot 4 \text{ kHz})$.

4 Simulación de red para determinar la interferencia

La selección de una metodología para elegir valores de dfp con miras a proteger al servicio fijo está limitada por consideraciones de orden muy práctico. Por ejemplo, es teóricamente posible determinar los efectos de la interferencia de un servicio por satélite sobre el servicio fijo realizando

un cálculo exacto que comprende la convolución de todas las transmisiones existentes y proyectadas del servicio por satélite contra todos los receptores existentes y proyectados del servicio fijo a la vez que se tienen en cuenta factores temporales, espaciales y espectrales. Sin embargo, al acumular los datos requeridos para este cálculo, incluso para un tipo de situación de compartición, las consideraciones prácticas excluyen generalmente esta posibilidad.

Otros métodos para calcular criterios de protección, tales como la utilización del análisis del «caso más desfavorable», pueden ser, en determinados casos, demasiado conservadores para determinar el uso de un recurso valioso y limitado. Además, los experimentos realizados en laboratorio no se prestan para dar soluciones convenientes por motivos espaciales y cuantitativos. Por último, debido a la incertidumbre de poder anticipar todas las situaciones que se pueden plantear, en relación con nuevos servicios o cuando se produce la evolución continua de servicios existentes, los resultados de cualquiera de las técnicas mencionadas anteriormente están sujetos a una reevaluación constante.

Por estos motivos, una simulación analítica por computador del problema es el método más apropiado para obtener resultados útiles. Las simulaciones por computador que emplean los métodos de Monte Carlo para generar realizaciones representativas de servicios pueden crear datos simulados que se pueden utilizar en lugar de bases de datos reales o medidos.

El Apéndice 1 contiene un listado y descripción de una simulación por computador realizada con métodos Monte Carlo que permite examinar varias situaciones de compartición del servicio fijo y los servicios por satélite. El programa se puede utilizar para probar la calidad de funcionamiento de sistemas específicos del servicio fijo con configuraciones específicas de satélite que emiten niveles específicos de dfp. Se pueden utilizar pasadas repetidas del programa para determinar las adaptaciones de los parámetros de sistema que permitirían la compartición.

En las Fig. 3 a 7 se muestran los resultados de ejemplos apropiados de situaciones de compartición del servicio fijo y el servicio por satélite.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 1

Descripción de un ejemplo de programa de simulación por computador

1 Hipótesis relativas a la red

En los modelos de satélite y de redes inalámbricas fijas utilizados en el programa, se supone que:

- la órbita está completamente llena con plataformas espaciadas uniformemente, que funcionan con el mismo nivel de potencia radiada aparente y que producen la misma dfp en la superficie de la Tierra;
- la red inalámbrica fija se compone de rutas de 50 tramos distribuidas aleatoriamente en una superficie de aproximadamente 65° de longitud por $22,5^\circ$ de latitud. Todos los receptores tienen la misma temperatura de ruido, característica de antena (Recomendación UIT-R F.699) y separación (50 km);
- se utilizan los cálculos en el espacio libre. No se consideran las ventajas atribuibles a la atmósfera y a la polaridad.

2 Entrada/salida

El programa de simulación permite al operador seleccionar y controlar los siguientes parámetros de entrada:

- latitud del centro de las rutas (rumbo),
- temperatura de ruido del receptor,
- ganancia máxima de la antena del receptor,
- número de rutas inalámbricas fijas que han de analizarse,
- separación entre satélites,
- evitación de la órbita,
- dfp de ángulo bajo,
- dfp de ángulo alto.

El programa produce dos ficheros de salida que contienen bases de datos que el usuario puede analizar.

La primera base de datos (RAD_RTS.DAT) se utilizaría adecuadamente para analizar los efectos de la interferencia de redes inalámbricas fijas analógicas para distintas configuraciones de redes de satélite. El fichero es una serie de registros donde cada registro da la interferencia de banda de base total, pW , en una anchura de banda de 4 kHz para una ruta inalámbrica fija de 50 tramos. Los datos se podrían utilizar más generalmente para proporcionar gráficos de distribución acumulada que muestran la magnitud de la degradación de interferencia que experimentarían porcentajes de redes analógicas en función de los niveles de interferencia. El tamaño del fichero es dos veces el número de rutas inalámbricas fijas analizadas, porque hay dos sentidos para cada ruta. El tamaño máximo del fichero será de 600 registros y es función del número máximo de rutas que pueden ser tratadas por el programa, que es de 300.

El segundo fichero de base de datos (RAD_STE.DAT) se puede utilizar también para analizar los efectos de la interferencia de satélites en redes digitales del servicio fijo. Cada registro del fichero es la interferencia (I) (W) causada a un receptor del emplazamiento de la red inalámbrica fija. Los registros se disponen en grupos de 50 de modo que se pueda efectuar el análisis para cada ruta completa de 50 tramos, en ambos sentidos. Cada ruta producirá 100 registros (50×2). El tamaño máximo del fichero contendrá 30 000 registros ($50 \times 2 \times 300$).

En el caso de que los ficheros de tamaño máximo de una pasada de computador no sean una muestra de datos suficientemente grande, se puede pasar el programa de nuevo y se añadirán automáticamente los datos subsiguientes.

3 Funcionamiento del programa

El programa comienza seleccionando la latitud introducida por el usuario para el centro de la ruta inalámbrica fija y calcula después la longitud como una variable aleatoria (circunscrita por los límites de superficie de 65°) del centro de la ruta. El acimut (con respecto al Sur) de la dirección o rumbo de la ruta, se calcula como una variable aleatoria con una distribución uniforme entre 0 y 2π .

La ubicación del primer emplazamiento de la red inalámbrica fija se determina a partir de la altitud, longitud y ángulo de rumbo. Se calcula después la suma de la interferencia al receptor de la ubicación desde todos los satélites visibles y se almacena para uso ulterior.

La ubicación del próximo emplazamiento en las rutas se determina suponiendo que su dirección es una variable aleatoria distribuida uniformemente dentro de $\pm 25^\circ$ del rumbo de la ruta y que la longitud de la ruta es de 50 km. Se calcula de nuevo la interferencia causada al receptor del nuevo emplazamiento desde todos los satélites visibles como se describió anteriormente.

La selección del siguiente emplazamiento y los cálculos de interferencia se repiten para los 50 tramos de la ruta, una nueva ruta se selecciona aleatoriamente y el proceso del cálculo de la interferencia se repite hasta 300 veces. En caso de que haya que considerar la evitación de la órbita (opción del usuario), el programa prueba cada emplazamiento para determinar si el sentido del emplazamiento cae dentro de la gama que ha de evitarse. Si es así, se descarta la ubicación del emplazamiento y se elige un nuevo sentido y un nuevo emplazamiento.

La información de interferencia almacenada se utiliza para crear los ficheros de salida (RAD_RTS.DAT, RAD_STE.DAT).

En el caso de redes analógicas, la interferencia en banda de base es la información deseada. El programa obtiene esta información suponiendo que hay una relación lineal entre la relación interferencia/ruido a la entrada del receptor y la relación interferencia/ruido de banda de base, como sigue:

$$i_c/n_c = i_b/n_b \quad (12)$$

o

$$i_b = (i_c/n_c) n_b \quad (13)$$

La interferencia a la entrada del receptor es determinada por las características de la red, como se explica anteriormente en el § 3 del Anexo 1. Por tanto:

$$i_c = I_s \text{ (véase la ecuación (9))}$$

El ruido térmico a la entrada del receptor es una función de la temperatura de ruido del receptor del sistema fijo inalámbrico.

$$n_c = k T_s b$$

donde:

k : constante de Boltzmann

T_s : temperatura de ruido del sistema

b : anchura de banda de canal vocal (4 kHz).

La Recomendación UIT-R SF.358 indica que para un modelo de red inalámbrica fija apropiado, la potencia de ruido térmico de canal es:

$$n_b = 25 \text{ pW0p}$$

El programa utiliza este valor para determinar la interferencia de banda de base para cada receptor del emplazamiento por ecuación (13) y suma las interferencias de los 50 emplazamientos para cada ruta con el fin de determinar la interferencia total por ruta.

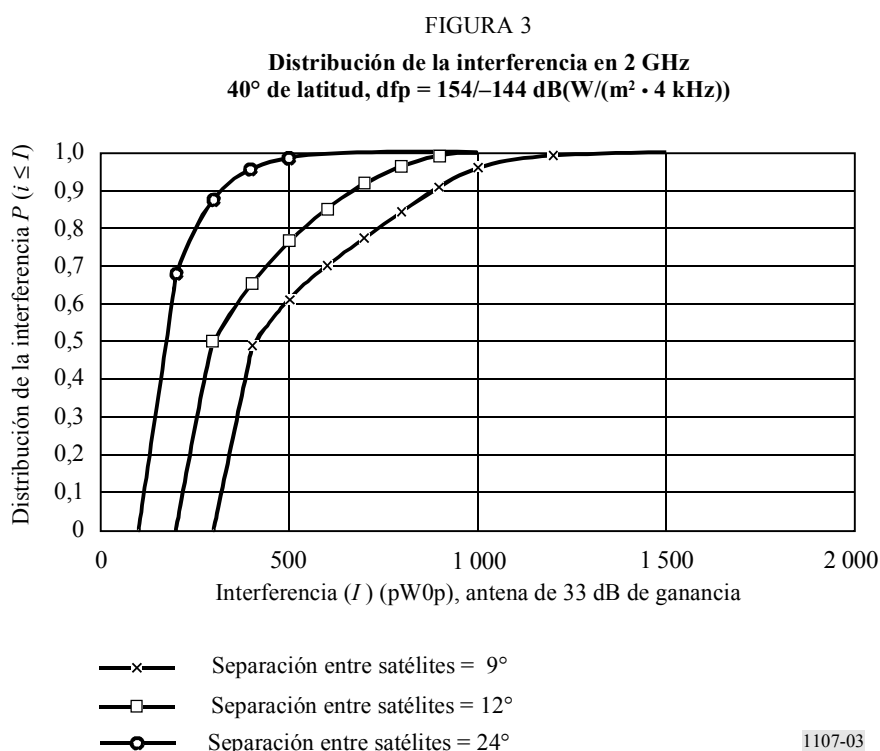
El segundo fichero (RAD_STE.DAT) creado por el programa es una compilación de los valores de I_s calculados.

Los cálculos efectuados mediante el programa vienen limitados por los supuestos siguientes:

- el punto central de un trayecto debe situarse en latitudes comprendidas entre 15° y 70°,
- el programa presupone satélites ubicados exactamente en el plano ecuatorial, y no admite órbitas inclinadas.

4 Resultados del caso de ejemplo

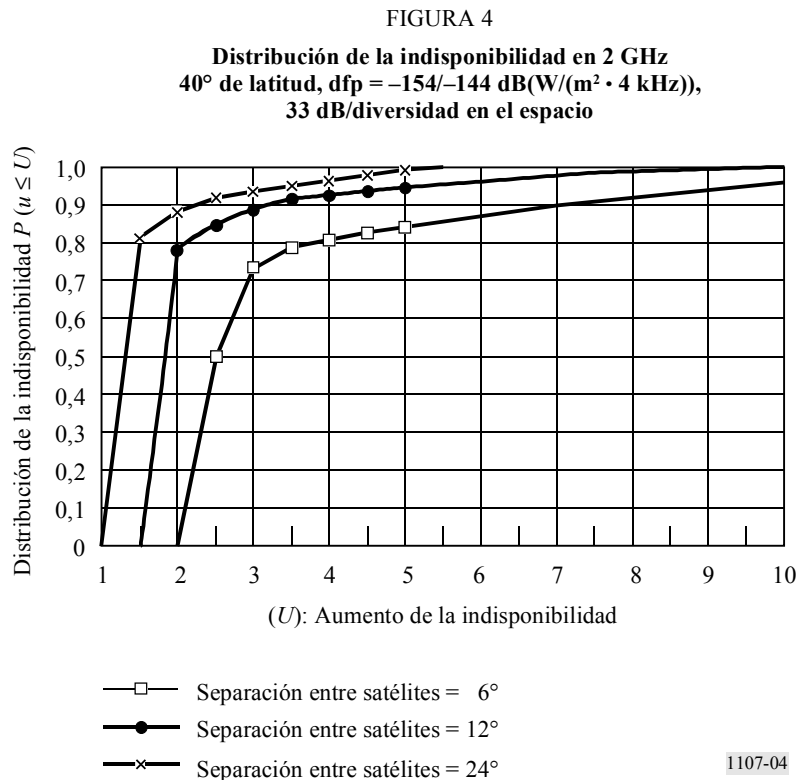
La Fig. 3 muestra los resultados de un análisis de los datos de RAD_RTS.DAT para tres situaciones de compartición en 2 GHz. Se supuso que todos los sistemas fijos eran rutas MDF de 50 tramos realizadas con antenas con una ganancia en recepción de 33 dB y receptores con temperatura de ruido de 1750 K. Estos parámetros del servicio fijo son representativos de los descritos en la Recomendación UIT-R F.758. Los tres modelos de redes de satélite considerados limitan los niveles de dfp de -154 a -144 dB(W/m²) en una anchura de 4 kHz y sólo difieren en la ocupación orbital máxima (separaciones de 9°, 12° y 24°).



Los resultados indican que para separaciones de satélite de 6° o más, los sistemas MDF del servicio fijo experimentarían una interferencia inferior a 1 000 pW aproximadamente en el 95% de las rutas, suponiendo una distribución uniforme de los sentidos de las rutas. Asimismo, los resultados indican que el servicio fijo pudiera aceptar niveles más altos de dfp de los satélites con ocupación orbital reducida y que satisfacerían aún los criterios del 10%.

La Fig. 4 ilustra el resultado de un análisis de los datos de RAD_STE.DAT. En este caso, la base de datos de interferencia resultante se aplicó a un supuesto sistema del servicio fijo que comparte el espectro con rutas digitales del servicio fijo, con diversidad en el espacio, 2 GHz, MAQ-64, caso típico de la Recomendación UIT-R F.758. Utilizando las técnicas descritas en la Recomendación UIT-R P.530, se obtuvieron gráficos que trazan el efecto acumulado sobre la indisponibilidad (la cantidad de tiempo en que la tasa de errores fue inferior a 1 en 10⁻³). La abscisa de la Fig. 4 es un factor que aumenta la indisponibilidad de rutas digitales de 50 tramos con diversidad en el espacio, como resultado de la interferencia de satélites. Por ejemplo, aproximadamente el 80% de las rutas

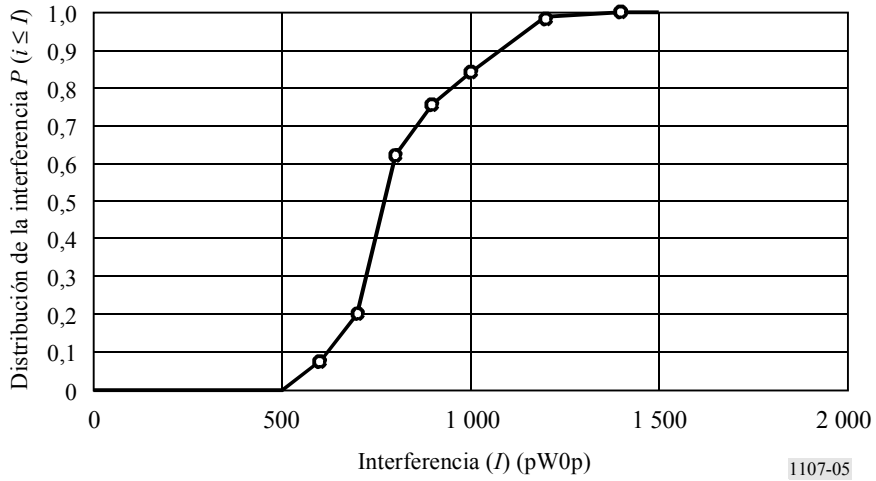
que experimentan interferencia de la constelación de satélites con una separación de 24° tendría menos de un 50% de aumento en la indisponibilidad. Este análisis da cierta visión de la sensibilidad aparente de los sistemas fijos digitales e indica que se comprenda la repercusión sobre la compartición cuando se consideran los cambios a la definición de indisponibilidad (es decir, Recomendación UIT-T G.826) para sistemas digitales.



La Fig. 5 muestra los resultados de la compartición del espectro entre un supuesto sistema de satélite con una separación de 60° (posiblemente sistemas del servicio de radiodifusión por satélite (SRS) (sonora) o sistemas del servicio móvil por satélite (SMS)) y una configuración representativa de un sistema fijo analógico en la banda 1,5 GHz. Se supone que el nivel admisible de dfp de ángulo alto del satélite es $-135 \text{ dB(W/m}^2)$ en 4 kHz. La dfp de ángulo bajo se mantuvo en $-154 \text{ dB(W/m}^2)$. La dfp de ángulo alto es 9 dB superior que los niveles de dfp en bandas adyacentes. Los resultados (de RAD_RTS.DAT) indican que más del 85% de los sistemas fijos tendrían menos de 1 000 pW de interferencia para esa configuración.

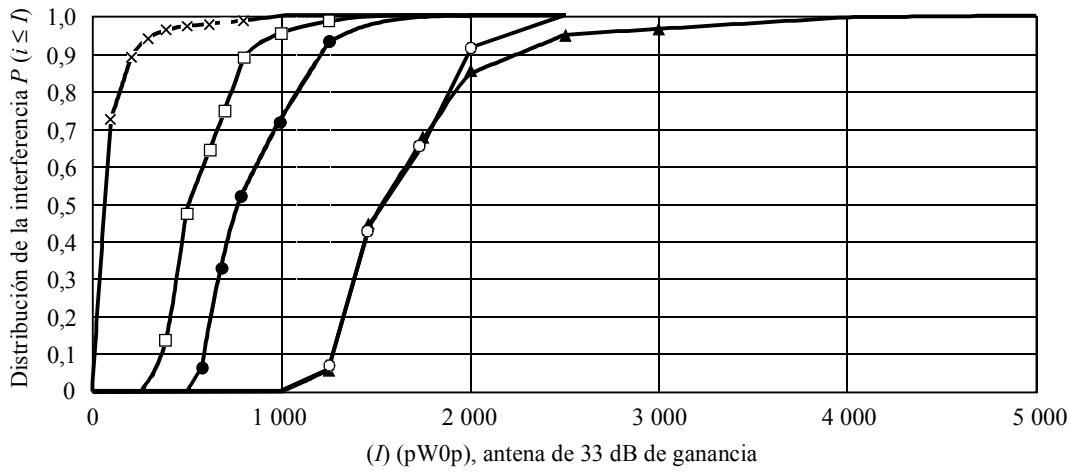
Las Figs. 6 y 7 muestran los resultados de un estudio parcial, cuya finalidad fue analizar de manera cuantitativa la sensibilidad de las distribuciones de interferencia del servicio fijo a los cambios en los niveles de dfp del satélite y a los cambios en la banda de trabajo, suponiendo que se mantuvieron constantes otros parámetros en la situación de compartición. Los resultados indican que hay que elegir con cuidado los sistemas del servicio fijo seleccionados para funcionar en un entorno compartido, si ha de mantenerse en todas las bandas el mismo nivel de calidad de funcionamiento.

FIGURA 5
 Distribución de la interferencia, separación entre satélites = 60°,
 1,5 GHz, dfp = -154/-134 dB(W/(m² · 4 kHz)), 25° de latitud



1107-05

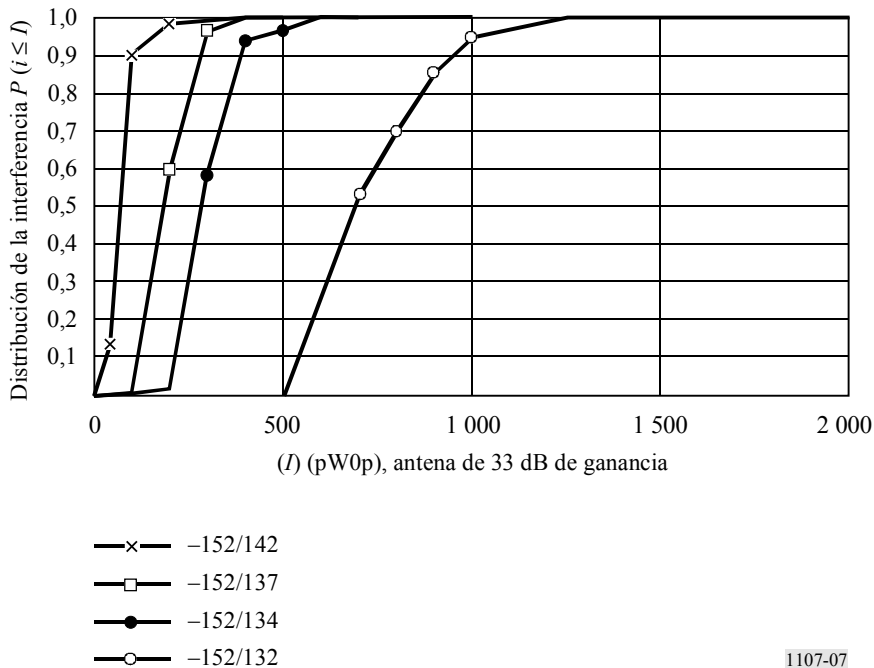
FIGURA 6
 Estudio de la interferencia entre servicios por satélite y el servicio fijo, en 1,5 GHz
 40° de latitud, separación entre satélites = 45°, dfp = dB(W/(m² · 4 kHz))



1107-06

FIGURA 7

Estudio de la interferencia entre servicios por satélite y el servicio fijo,
en 2,5 GHz, 40° de latitud, separación entre satélites = 45°, $d_{fp} = \text{dB}(W/(m^2 \cdot 4 \text{ kHz}))$



1107-07

5 Listado de RAD_REL.BAS

El siguiente listado se ha compilado exitosamente con un compilador comercial (Microsoft QuickBasic, versiones 4 y 4.5). Otros compiladores pueden requerir alguna modificación del código para el funcionamiento apropiado. Como se indica en el § 1 de este Apéndice, se pueden ajustar los parámetros de red para redes tanto inalámbricas fijas como de satélite, de modo que se pueda analizar una variedad de situaciones de compartición.

Debe tenerse cuidado de que las instrucciones numeradas a continuación que tienen más de una línea de código sean introducidas sin caracteres de control, es decir, sin «retorno del carro» o «cambio de renglón».

REFERENCIA: A.S. MAY Y M.J. PAGONES. MODEL FOR COMPUTATION OF INTERFERENCE FROM GEOSTATIONARY SATELLITES. BSTJ, VOL. 50, N.º 1, ENERO DE 1971, P. 81-102.

```
'      MAINPROGRAM
100    CLS : SCREEN 9
155    RANDOMIZE TIMER: RTS = 49:
      STS = 50:RTS=# RR ROUTES, STS=# STATION SITES PER ROUTE
160    CLS : PI = 3.141593: RA = .01745329#:
      DE = 57.29578: T = 22.48309
'      T = MAXIMUM GREAT CIRCLE LENGTH (DEG) OF ONE 50 HOP ROUTE
162    K = 6.629957: K2 = K * K: K4 = 1 / (K2 - 1) ^ .5:
      K2I = 1 / K2: PI2 = PI / 2
165    GOSUB 1650'ENTER LATITUDE OF SYSTEMS
170    GOSUB 1700'ENTER FREQUENCY
```

```

175 GOSUB 1750'ENTER RR RECEIVER NOISE TEMP
180 GOSUB 1800'ENTER RR RECEIVE MAXIMUM ANTENNA GAIN
185 GOSUB 3000'ENTER # OF RR ROUTES
190 GOSUB 4000'ENTER AMOUNT OF ORBIT AVOIDANCE
195 GOSUB 5000'ENTER SATELLITE ORBIT SEPARATION
200 GOSUB 6000'ENTER LOW/HIGH ANGLE PFD LIMIT VALUES
210 GOSUB 7000'MAKE REVISIONS OF ABOVE ENTRIES
215 PF = .005 * (PFH - PFL): PFDL = 10 ^ (.1 * PFL):
    PFDH = 10 ^ (.1 * PFH)
220 CLS : DIM A!(RTS, STS): DIM B!(1 + 2 * RTS): DIM C!(RTS, STS)
225 FOR Q = 0 TO RTS: FOR V = 0 TO STS: A(Q, V) = 0: C(Q, V) = 0:
    NEXT: NEXT
227 FOR Q = 0 TO (1 + 2 * RTS): B(Q) = 0: NEXT
230 MU = 1.6212E+18 / (FREQ ^ 2 * NTEMP)
235 MU1 = kTb1/Nc
' MU=Nc((c/FREQ)^2/4Pi)/kTb1, MU1 = kTb1/Nc
' Where:
'
'           Nc=voice channel noise power
'           =25 picowatts
'
'           c/FREQ=transmission wavelength
'
'           k=Boltzmann's constant, 1.3805E-23
'           T=receiver noise temp. in Kelvin s
'           b=channel bw, 4KHz
'           l=feeder loss,3dB
'
' START ROUTE CALCULATIONS
240 FOR M = 0 TO RTS
243 LOCATE 13, 1: PRINT STRING$(30, 0)
244 LOCATE 13, 1: PRINT "CALCULATING ROUTE"; M
245 LONGREF = T * (2 * RND - 1)
' LONGREF is longitude of middle of reference
250 TAU = 90 * RND: TAURA = TAU * RA
' TAU is the direction of RR network trendline
260 LATR0 = (((T / 2) * COS(TAURA)) + LATREF)
265 LONGR0 = -((T / 2) * SIN(TAURA) + LONGREF)
' LATR0, LONGR0 is latitude, longitude of the 1st RR site.
275 'X = 319.5 + ((LONGR0 * 319.5) / (1.5 * T)):
    'Y = (1 - COS(TAURA)) * 77.5
'
' X, Y= SCREEN COORDINATES FOR PLOTTING THE SITES. REMOVE ""
' FROM 275, 530 - 550 FOR GRAPHIC REPRESENTATION OF ROUTES.

```

```

' Find satellite horizon from 1st RR site
300 A = K4 * TAN(LATR0 * RA): A2 = ((1 - A * A) ^ .5) / A
305 AZMUTH = ATN(A2)
' Azmuth= angle to horizon from south at RR point
310 AZ = SIN(AZMUTH) * ((1 - K2I) ^ .5)
315 LONGHOR = ATN(AZ / ((1 - AZ * AZ) ^ .5))
' LONGHOR is the longitude difference between the RR and
' horizon/orbit intercept
320 LONHOR = LONGHOR * DE
' Calculate interference from all visible sats into a RR site
' on a route.
330 LONGR = LONGR0: LATR = LATR0: LONS = 0
' LONGR=Longitude of RR, LATR=Latitude of RR, LONS=longitude of
' next visible sat.
' Do the interference calculation for each site
335 FOR N = 0 TO STS
340 RR = (TAU + 25) - (50 * RND): RRD = RR * RA
' RR, RRD is the pointing direction to the next site
' Calculate location of next RR site
' Find most easterly visible satellite.
350 DO WHILE LONS <= LONHOR + LONGR
360 LONS = LONS + SEP: LOOP
364 LONS = LONS - SEP
370 'Do the interference calculation per site.
380 DO WHILE LONS >= LONGR - LONHOR
390 GOSUB 2360
395 IF GAMMAW < AVOID OR GAMMAE < AVOID
    THEN A(M, N) = 0: C(M, N) = 0: GOTO 340
400 LONS = LONS - SEP: LOOP
' Calculate location of next RR site
411 J = LONGR: L = LATR
420 P = (SIN(LATR * RA)) * COS(.4496 * RA) -
    (COS(LATR * RA)) * (SIN(.4496 * RA)) * (COS(RRD))
430 Q = P / (1 - P * P) ^ .5
435 LATR = DE * ATN(Q) 'LATITUDE OF THE NEXT RR SITE
440 R = SIN(.4496 * RA) * SIN(RRD) / (1 - P * P) ^ .5:
    S = R / (1 - R * R) ^ .5: DELLONGR = ATN(S) * DE

```

```

450  LONGR = LONGR + DELLONGR 'LONGITUDE OF NEXT RR SITE
'    Calculate satellite horizon for the new RR site
470  A = K4 * TAN(LATR * RA): A2 = ((1 - A * A) ^ .5) / A
480  AZMUTH = ATN(A2)
      'Azimuth= angle to horizon from south at RR point, South reference
490  AZ = SIN(AZMUTH) * ((1 - K2I) ^ .5)
500  LONGHOR = ATN(AZ / ((1 - AZ * AZ) ^ .5))
'    LONGHOR is the longitude of the RR horizon/orbit intercept
520  LONHOR = LONGHOR * DE
'    Print RR route on screen
530  'Y1 = ((L - LATR) / T) * 155: X1 = (DELLONGR / (3 * T)) * 480
540  'LINE (X, Y)-(X + X1, Y + Y1)
550  'X = X + X1: Y = Y + Y1
555  NEXT ' Do next RR site
560  NEXT ' Do next RR route
'    Calculate the output files
600  FOR M = 0 TO RTS
610      FOR N = 1 TO STS
620          B(M) = B(M) + A(M, N)
630      NEXT N
640  NEXT M
650  FOR G = 0 TO RTS
660      FOR H = 0 TO STS - 1
670          B(RTS + 1 + G) = B(RTS + 1 + G) + C(G, H)
680      NEXT H
690  NEXT G
700  OPEN "RAD_RTS.DAT" FOR APPEND AS #1
710  FOR M = 0 TO 1 + (2 * RTS)
720  'PRINT "ROUTE"; M; : PRINT "="; B(M)
725  PRINT #1, B(M)
730  NEXT
735  CLOSE #1
740  OPEN "RAD_STE.DAT" FOR APPEND AS #2
750  FOR M = 0 TO RTS: FOR N = 0 TO STS
755  A(M, N) = A(M, N) * MU1
760  PRINT #2, A(M, N): NEXT: NEXT

```

```

765 PRINT #2, 0
770 FOR M = 0 TO RTS: FOR N = 0 TO STS
775 C(M, N) = C(M, N) * MU1
780 PRINT #2, C(M, N): NEXT: NEXT
790 CLOSE #2
830 'PRINT "PROGRAM COMPLETED, PRESS ANY KEY TO END"
840 A$ = INKEY$: IF A$ = " " THEN 840
850 IF A$ = "r" OR A$ = "R" THEN LOCATE 14, 1:
PRINT STRING$(70, 0): GOTO 225 'REPEAT DATA BASE CALC.
860 IF A$ = "e" OR A$ = "E" THEN CLS : GOTO 1000
870 GOTO 830
1000 END ' END OF RAD_REL.BAS

'Subroutine for entering RR route latitude
1650 LOCATE 4, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 5, 1:
PRINT STRING$(20, 0)
1660 LOCATE 4, 1: PRINT "1) ENTER NETWORK LATITUDE (15 to 70) "
1670 INLEN% = 6: GOSUB 14000
1680 LATREF = VAL(BUFF$)
'LATREF is the latitude at the centre of the trend line
1690 IF (LATREF > 70! OR LATREF < 15!) THEN LOCATE 22, 1:
PRINT "Out of Range, RE-ENTER, ": FOR C = 1 TO 100000:
NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 1650
1695 RETURN

'Subroutine for entering frequency of operation
1700 LOCATE 6, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 7, 1:
PRINT STRING$(20, 0)
1710 LOCATE 6, 1: PRINT "2) ENTER TRANSMIT CARRIER FREQUENCY <GHZ>"
1720 INLEN% = 6: GOSUB 14000
1730 FREQ = VAL(BUFF$)'FREQ = FREQUENCY OF SHARING SCENARIO IN GHZ
1740 IF FREQ <= 0! OR FREQ > 100! THEN LOCATE 22, 1:
PRINT "OUT OF RANGE, RE-ENTER, ": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(78, 0): GOTO 1700
1745 RETURN

'Subroutine - enter RR receiver noise temp.
1750 LOCATE 8, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 9, 1:
PRINT STRING$(20, 0)
1760 LOCATE 8, 1:
PRINT "3) ENTER AVE. VALUE OF RR RECEIVER NOISE TEMP <DEG
KELVIN>"

```



```

1770  INLEN% = 6: GOSUB 14000
1780  NTEMP = VAL(BUFF$)'NTEMP=NOISE TEMP OF RR RECEIVERS
1790  IF NTEMP <= 0 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "OUT OF RANGE, RE-ENTER,": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
      LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(78, 0): GOTO 1750
1795  RETURN
'Subroutine - enter RR receive antenna gain and calculate
      intermediate parms.
1800  LOCATE 10, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 11, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)
1805  LOCATE 10, 1:
      PRINT "4) ENTER MAX RADIO-RELAY RECEIVE ANTENNA DB GAIN"
1810  INLEN% = 6: GOSUB 14000
1820  GMAX = VAL(BUFF$)'GMAX is MAX RR rec. Antenna gain
1830  IF GMAX < 0 OR GMAX > 99 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "OUT OF RANGE, RE-ENTER": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
      LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 1800
1840  DLAMBDA = 10 ^ ((GMAX - 7.7) / 20)
      'DLAMBDA=RATIO OF REC. ANT DIA./ WAVELENGTH
1850  G1 = 2 + 15 * (LOG(DLAMBDA) / LOG(10))
      'PRINT "DLAMBDA="; DLAMBDA
1860  PHYM = (20 / DLAMBDA) * (GMAX - G1) ^ .5
1870  RETURN
'
      This Subroutine to calculate RR/sat elevation and
      separation angles and interference
2360  W = (LONS - LONGR):
      ASAT = ATN((TAN(W * RA)) / SIN(LATR * RA)): ASAT1 = ASAT
'
      ASAT=AZMUTH ANGLE TO SUBSAT REFERENCED TO SOUTH
2370  U = COS(LATR * RA) * COS(W * RA):
      BETA = ATN((1 - U * U) ^ .5 / U)
2380  OMEGA = ATN(SIN(BETA) / (K - COS(BETA)))
2390  THETAR = PI2 - (BETA + OMEGA): THETA = THETAR * DE
      THETA=ELEVATION ANGLE TO SAT FROM RR
2400  VW = (COS(THETAR)) * COS(ASAT - RRD):
      GAMMAW = (PI2 - ATN(VW/SQR(1 - VW * VW))) * DE
'
      GAMMAW = ANGLE BETWEEN SATELLITE AND WEST POINTING RECEIVER
2415  GAMMAE = 180 - GAMMAW
'
      GAMMAE = ANGLE BETWEEN SATELLITE AND EAST POINTING RECEIVER
2420  IF GAMMAW < 0 THEN GAMMAW = 180 + GAMMAW

```

```

2425  IF GAMMAE < 0 THEN GAMMAE = 180 + GAMMAE
2430  IF (GAMMAW <= AVOID) OR (GAMMAE <= AVOID) THEN RETURN
2440  IF THETA >= 0 AND THETA < 5 THEN PFD = PFDL: GOTO 2500
2450  IF THETA >= 5 AND THETA < 25 THEN
      PFD = (10 ^ (PFL * .1 + PF * (THETA - 5))): GOTO 2500
2460  IF THETA >= 25 THEN PFD = PFDH
2500  IF GAMMAW >= 0 AND GAMMAW <= PHYM THEN GTHETAW
      = 10 ^ (.1 * (GMAX - .0025 * (DLAMBDA * GAMMAW) ^ 2)):
      GOTO 2540
2510  IF GAMMAW >= PHYM AND GAMMAW < (100 / DLAMBDA) THEN
      GTHETAW = 10 ^ (.1 * G1): GOTO 2540
2520  IF GAMMAW >= (100 / DLAMBDA) AND GAMMAW < 48 THEN
      GTHETAW = 10 ^ (.1 * (52 - 10 * (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10) -
      25 * (LOG(GAMMAW)) / LOG(10))): GOTO 2540
2530  IF GAMMAW >= 48 AND GAMMAW ≤ 180 THEN
      GTHETAW = 10 ^ (1 - (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10))
2540  SINTW = MU * PFD * GTHETAW:
      IF N > 0 THEN A(M, N) = A(M, N) + SINTW
'      SINTW = INTEFERENCE INTO WEST POINTING RECEIVERS
2550  IF GAMMAE >= 0 AND GAMMAE <= PHYM THEN GTHETAE
      = 10 ^ (.1 * (GMAX - .0025 * (DLAMBDA * GAMMAE) ^ 2)):
      GOTO 2590
2560  IF GAMMAE >= PHYM AND GAMMAE < (100 / DLAMBDA) THEN
      GTHETAE = 10 ^ (.1 * G1): GOTO 2590
2570  IF GAMMAE >= (100 / DLAMBDA) AND GAMMAE < 48 THEN
      GTHETAE = 10 ^ (.1 * (52 - 10 * (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10) -
      25 * (LOG(GAMMAE)) / LOG(10))): GOTO 2590
2580  IF GAMMAE >= 48 AND GAMMAE ≤ 180 THEN
      GTHETAE = 10 ^ (1 - (LOG(DLAMBDA)) / LOG(10))
2590  SINTE = MU * PFD * GTHETAE: IF N < 50 THEN
      C(M, N) = C(M, N) + SINTE
'      SINTE = INTERFERENCE INTO EAST POINTING RECEIVERS
2600  RETURN
'Subroutine - ALLOWS ENTRY OF # RR ROUTES (RTS)
3000  LOCATE 12, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 13, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)
3010  LOCATE 12, 1:
      PRINT "5) ENTER NUMBER OF RADIO-RELAY ROUTES <300 MAX>"
3020  INLEN% = 3: GOSUB 14000
3030  RTS = VAL(BUFF$)
3033  IF RTS > 300 OR RTS < 1 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "Out of Range, RE-ENTER": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:
      LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 3000

```

```
3035 IF RTS <= 300 THEN RTS = RTS - 1: RETURN
```

```
'Subroutine to specify orbit avoidance
```

```
4000 LOCATE 14, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 15, 1:  
PRINT STRING$(20, 0)
```

```
4040 LOCATE 14, 1:  
PRINT "6) ENTER ORBIT AVOIDANCE ANGLE, DEG. <ENTER>"
```

```
4050 INLEN% = 4: GOSUB 14000
```

```
4060 AVOID = VAL(BUFF$)
```

```
4070 IF AVOID < 0 THEN LOCATE 22, 1:  
PRINT "Out of Range, RE-ENTER": FOR C = 1 TO 100000: NEXT:  
LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0): GOTO 4000
```

```
4080 RETURN
```

```
'Subroutine to determine satellite orbit separation
```

```
5000 LOCATE 16, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 17, 1:  
PRINT STRING$(20, 0)
```

```
5010 LOCATE 16, 1:  
PRINT "7) ENTER SATELLITE ORBIT SEPARATION (2 MIN), DEG.  
<ENTER>"
```

```
5060 INLEN% = 5: GOSUB 14000
```

```
5070 SEP = VAL(BUFF$)
```

```
5080 IF SEP < 2 THEN LOCATE 22, 1: PRINT "Out of Range, RE-ENTER":  
FOR C = 1 TO 100000: NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(40, 0):  
GOTO 5000
```

```
5090 RETURN
```

```
'Subroutine - Enter low/high angle pfd value
```

```
6000 LOCATE 18, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 19, 1:  
PRINT STRING$(20, 0): LOCATE 20, 1: PRINT STRING$(78, 0):  
LOCATE 21, 1: PRINT STRING$(20, 0)
```

```
6010 LOCATE 18, 1:  
PRINT "8A) ENTER MAXIMUM LOW ANGLE (0 <= THETA < 5°) PFD  
LEVEL"
```

```
6020 INLEN% = 5: GOSUB 14000
```

```
6030 PFL = VAL(BUFF$)
```

```
6040 IF PFL > 0 THEN LOCATE 22, 1:  
PRINT "OUT OF RANGE, ENTER NEGATIVE VALUE":  
FOR C = 1 TO 100000: NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(50, 0):  
GOTO 6000
```

```
' - Enter high angle pfd value
```

```
6500 LOCATE 20, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 21, 1:  
PRINT STRING$(20, 0)
```

```

6510  LOCATE 20, 1:
      PRINT "8B) ENTER MAXIMUM HIGH ANGLE ( THETA >= 25°)
      PFD LEVEL"

6520  INLEN% = 5: GOSUB 14000

6530  PFH = VAL(BUFF$)

6540  IF PFH > 0 THEN LOCATE 22, 1:
      PRINT "OUT OF RANGE, ENTER NEGATIVE VALUE":
      FOR C = 1 TO 100000: NEXT: LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(50, 0):
      GOTO 6500

6545  PF = .005 * (PFH - PFL): PFDL = 10 ^ (.1 * PFL):
      PFDH = 10 ^ (.1 * PFH)

6550  RETURN

7000  LOCATE 22, 1: PRINT STRING$(78, 0): LOCATE 23, 1:
      PRINT STRING$(20, 0)

7010  LOCATE 22, 1:
      PRINT "REVISIONS? ENTER '1 - 8' OR '0' IF NONE "

7020  A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 7020

7030  IF A$ = "0" OR A$ = CHR$(13) THEN RETURN

7040  IF A$ = "1" THEN GOSUB 1650: GOTO 7000

7050  IF A$ = "2" THEN GOSUB 1700: GOTO 7000

7060  IF A$ = "3" THEN GOSUB 1750: GOTO 7000

7070  IF A$ = "4" THEN GOSUB 1800: GOTO 7000

7080  IF A$ = "5" THEN GOSUB 3000: GOTO 7000

7090  IF A$ = "6" THEN GOSUB 4000: GOTO 7000

7100  IF A$ = "7" THEN GOSUB 5000: GOTO 7000

7110  IF A$ = "8" THEN GOSUB 6000: GOTO 7000

7200  GOTO 7000

'Subroutine for entering numeric data

14000  TRUE = -1: FALSE = 0'Formatted numeric input subroutine

14005  POINT. = FALSE: DEC.CNT = 0: BUFF$ = " ":
      ERA$ = CHR$(29) + CHR$(95) + CHR$(29):
      PRINT STRING$(INLEN%, CHR$(95)); STRING$(INLEN%, CHR$(29));

14010  W$ = INPUT$(1): IF W$ >= "0" AND W$ <= "9" THEN 14100

14020  IF W$ <> CHR$(8) THEN 14040

14030  IF BUFF$ = "" THEN 14010 ELSE W$ = RIGHT$(BUFF$, 1):
      BUFF$ = LEFT$(BUFF$, LEN(BUFF$) - 1): PRINT ERA$; :
      IF W$ = "." THEN POINT. = FALSE: DEC.CNT = 0

14035  IF POINT. THEN DEC.CNT = DEC.CNT - 1: GOTO 14010 ELSE 14010

14040  IF W$ = CHR$(13) THEN RETURN

```

```

14070  IF W$ = "." THEN IF POINT. THEN 14010 ELSE IF
      LEN(BUFF$) = INLEN% THEN 14010 ELSE POINT. = TRUE: GOTO 14100
14080  IF W$ = "-" OR W$ = "+" THEN IF BUFF$ > " " THEN
      14010 ELSE 14100
14090  GOTO 14010
14100  IF LEN(BUFF$) = INLEN% OR DEC.CNT = 3 THEN
      14010 ELSE PRINT W$; : BUFF$ = BUFF$ + W$:
      IF POINT. THEN DEC.CNT = DEC.CNT + 1: GOTO 14010 ELSE 14010

'Subroutine - Enter alphanumeric data (not used)
14300  BKSPC$ = CHR$(8): CR.RET$ = CHR$(13):
      ERA$ = CHR$(29) + " " + CHR$(29) 'String input routine
14305  BUFF$ = " "
14310  W$ = INPUT$(1): IF W$ >= "a" AND W$ <= "z" THEN
      W$ = CHR$(ASC(W$) - 32): GOTO 14350
14315  IF W$ >= " " AND W$ <= CHR$(127) THEN 14350
14320  IF W$ = BKSPC$ THEN IF BUFF$ = " " THEN 14310 ELSE
      BUFF$ = LEFT$(BUFF$, LEN(BUFF$) - 1): PRINT ERA$; :
      GOTO 14310
14340  IF W$ = CR.RET$ THEN RETURN ELSE 14310
14350  IF LEN(BUFF$) = INLEN% THEN 14310 ELSE PRINT W$; :
      BUFF$ = BUFF$ + W$: GOTO 14310

```

ANEXO 2

Información para evaluar la interferencia en los sistemas digitales del servicio fijo procedente de emisiones de estaciones espaciales que funcionan en la órbita geostacionaria

1 Introducción

El Anexo 1 de esta Recomendación describe un método de elaboración de criterios para la protección principalmente de sistemas del servicio fijo analógicos de largo recorrido. No obstante, actualmente la mayoría de los sistemas del servicio fijo emplean la modulación digital. Muchos de los elementos fundamentales descritos en el Anexo 1 son aplicables al método de desarrollo de criterios para la protección de estos sistemas del servicio fijo. Este Anexo presenta información adicional que es necesaria para evaluar la interferencia en dichos sistemas del servicio fijo.

La metodología ofrece estadísticas sobre los valores de la relación interferencia/ruido (I/N) de estaciones individuales y los valores de la degradación fraccionaria de la calidad de funcionamiento (DFC) de las rutas. La metodología descrita en el § 3 empleada para evaluar la DFC de la ruta sólo es válida cuando la I/N de una estación receptora de dicha ruta no es tan grande como para llevar al receptor a la zona no lineal. Se recomienda por tanto al usuario evaluar la I/N según las estadísticas de receptor, que se describen en el § 2, antes de evaluar las estadísticas de la DFC en un caso de saltos múltiples, como el que se describe en el § 3.

Este Anexo se aplica a los sistemas del servicio fijo digitales en los que predomina generalmente el desvanecimiento multitrayecto y no se aplica a los sistemas en los que predomina por lo general la atenuación debida a la precipitación.

2 Análisis estación por estación

En el caso de sistemas analógicos del servicio fijo, la interferencia procedente de los satélites geoestacionarios se evalúa en términos del ruido de interferencia del canal (pW) (véase el Apéndice 1 al Anexo 1). No obstante, en el caso de sistemas digitales del servicio fijo punto a punto (P-P) y punto a multipunto (P-MP), conviene evaluar la interferencia en términos de la DFC que se define como la interferencia variable en el tiempo procedente de satélites no geoestacionarios, en el Anexo 3 de la Recomendación UIT-R F.1108. Por analogía, cuando sólo hay una estación del servicio fijo, la DFC_{salto} debida a las diversas interferencias de los satélites geoestacionarios puede definirse a la entrada de un receptor como se indica a continuación, teniendo en cuenta que el nivel de interferencia casi no varía con el tiempo:

$$DFC_{salto} = \frac{I}{N_T} \quad (14)$$

donde:

I : interferencia combinada (W/MHz) procedente de los satélites visibles en el receptor del servicio fijo

N_T : ruido térmico del receptor (W/MHz).

Puede utilizarse la metodología propuesta en el Apéndice 2 de este Anexo para evaluar las estadísticas de la I/N .

Cuando es necesario determinar el efecto de la interferencia en los receptores del servicio fijo digital que emplean diversidad, puede ser más adecuado utilizar una fórmula distinta para evaluar la DFC_{salto} , la cual se describe en el Anexo 4 de la Recomendación UIT-R F.1108.

3 Sistemas del servicio fijo P-P multisalto

En los sistemas digitales del servicio fijo con n saltos que funcionan en frecuencias en las que predomina generalmente el desvanecimiento multitrayecto y sabiendo que, en general, los objetivos de calidad para los sistemas del servicio fijo P-P multisalto se especifican sobre una base de ruta, pueden emplearse dos métodos de evaluación probabilística. Uno se describe en el § 2 y el otro consiste en evaluar la DFC para la ruta definida como la relación entre la potencia total de interferencia y la potencia total de ruido para una dirección de una ruta, de la siguiente manera:

$$DFC_{ruta} = \frac{\sum_{k=1}^n (I_k)}{n \times N_T} \quad (15)$$

donde I_k es la interferencia combinada que llega al receptor k -ésimo procedente de los satélites visibles.

Debe señalarse que la ecuación (15) se basa en las siguientes hipótesis:

- la señal digital se regenera en cada repetidor; y
- el desvanecimiento tiene características de Rayleigh.

También debe señalarse que, para evaluar la DFC_{ruta} de los sistemas digitales del servicio fijo que emplean la diversidad, debe utilizarse una fórmula adecuada que es distinta a la de la ecuación (15). Se requieren nuevos estudios al respecto.

Aunque hay diversos tipos de desvanecimiento, se considera que el de Rayleigh es el desvanecimiento más agudo que se produce en los trayectos con visibilidad directa y es un factor determinante en la evaluación de la calidad del sistema del servicio fijo. La característica del desvanecimiento de Rayleigh es que la probabilidad de un desvanecimiento con profundidad de 10 dB, por ejemplo, se reduce en un factor de 1/10. Por tanto, si en un salto hay una interferencia variable en el tiempo cuyo nivel sea igual al nivel del ruido térmico ($I/N = 0$ dB), la probabilidad de segundos con muchos errores (o la probabilidad de tiempo de indisponibilidad) será el doble que la del caso en que no hay interferencia.

El concepto de DFC presenta ciertas limitaciones, siendo la hipótesis más importante la de que el funcionamiento del receptor del servicio fijo permanece en una zona de respuesta lineal. Si hay un nivel excepcionalmente elevado de interferencia, de forma que el receptor del servicio fijo caiga en una zona de respuesta no lineal, el concepto de DFC no será aplicable o subestimaré el efecto de la interferencia (véase el párrafo que sigue a la ecuación (16) del Anexo 3 a la Recomendación UIT-R F.1108). No obstante, en tanto que el funcionamiento del receptor del servicio fijo se mantenga en la zona de respuesta lineal, la ecuación (15) es válida para los sistemas digitales multisalto del servicio fijo.

El análisis del punto anterior no se traduce en una conclusión de que haya que evaluar por cada ruta la DFC únicamente. La evaluación de la DFC sobre una base de estación será también útil para comprender los efectos de la interferencia.

En el Apéndice 1 al Anexo 1 se supone una distancia de salto típica en los sistemas de largo recorrido de 50 km, pero puede ser adecuada una distancia de salto inferior para los sistemas de corto recorrido, dependiendo de diversos factores que incluyen la frecuencia de funcionamiento y los efectos de propagación. Por ejemplo, en el caso de una frecuencia de funcionamiento en la gama de 1-3 GHz, puede ser adecuada la selección aleatoria entre límites especificados (por ejemplo, entre 10 y 30 km) como distancias de salto típicas.

Las rutas del servicio fijo en estudio deben seleccionarse conforme al enfoque de simulación de Monte Carlo, que se describe en el Apéndice 1 al Anexo 1 de esta Recomendación, seleccionando de forma aleatoria el punto de arranque de la ruta en una zona de prueba especificada por el usuario que se identifica por los límites de latitud y de longitud.

Al efectuar el análisis de la ruta de los sistemas digitales sujetos al desvanecimiento multitrayecto, puede no ser necesario que cada uno de los saltos cumpla el criterio de la I/N . No obstante, la calidad total de la ruta debe satisfacer el criterio de DFC. Este aspecto se explica más adelante.

Cuando la propagación por trayectos múltiples es el mecanismo predominante del desvanecimiento, la Recomendación UIT-R P.530 relaciona la probabilidad de una interrupción en un salto $P(\text{interrupción de salto})$ con el margen del desvanecimiento por el ruido térmico del enlace (TFM, *thermal fade margin*):

$$P(\text{interrupción de salto}) = K \cdot d^{3,6} \cdot f^{0,89} \cdot (1 + |h_r - h_e|/d)^{-1,4} \cdot 10^{-TFM/10}$$

donde:

- K : factor geoclimático
- d : longitud del enlace (km)
- f : frecuencia (GHz)

h_r y h_e : alturas de las antenas de transmisión y de recepción (metros sobre el nivel del mar, o bien otra referencia utilizada)

TFM : margen del desvanecimiento del ruido térmico en un salto (dB)

$$TFM = 10 \log \left(\frac{C}{N_T} \right) - CNC$$

donde:

$10 \log \left(\frac{C}{N_T} \right)$: relación portadora/ruido (C/N) (dB) sin desvanecimiento

CNC : valor de la relación C/N en el que se cumple el criterio de calidad (dB).

Haciendo $K \cdot d^{3,6} \cdot f^{0,89} \cdot (1 + |h_r - h_e|/d)^{-1,4} \cdot 10^{-CNC/10} = \gamma$

Entonces:

$$P(\text{interrupción de salto}) = \gamma \cdot N_T/C$$

Y así:

$$P(\text{interrupción de salto antes de la interferencia de satélite}) = \gamma \cdot N_T/C$$

$$P(\text{interrupción de salto después de la interferencia combinada de satélite}) = \gamma \cdot (N_T + I)/C$$

donde C , N_T e I van en unidades de potencia homogéneas.

Si se supone que:

- cada salto se diseña de forma que tenga la misma probabilidad nominal de interrupción antes de la interferencia del satélite; y
- los desvanecimientos en los saltos son independientes y suficientemente raros para que puedan añadirse las probabilidades de interrupción,

la probabilidad nominal neta de interrupción para la ruta es:

$$P(\text{interrupción de ruta}) = \Sigma (P(\text{interrupción de ruta}))_{\text{número de saltos en la ruta}}$$

Así pues, el aumento fraccional de la probabilidad de interrupción en una ruta debido a la degradación del margen del desvanecimiento en cada salto de la ruta es simplemente:

$DFC(\text{interrupción de ruta})$

$$\begin{aligned} &= \frac{P(\text{interrupción de ruta con interferencia}) - P(\text{interrupción de ruta sin interferencia})}{P(\text{interrupción de ruta sin interferencia})} \\ &= \frac{\Sigma (\gamma \cdot (N_T + I)/C) - \Sigma (\gamma \cdot N_T/C)}{\Sigma (\gamma \cdot N_T/C)} \\ &= \frac{\Sigma I}{\Sigma N_T} \end{aligned}$$

es decir, la DFC de la ruta es la potencia total de interferencia de la ruta dividida por la potencia total de ruido en la ruta:

$$= \frac{\Sigma I}{n \cdot N_T} \quad \text{en relación de potencias}$$

$$= 100 \frac{\sum I}{n \cdot N_T} \quad \%$$

Así pues, el enfoque de la DFC para la evaluación del efecto de la interferencia en una ruta del servicio fijo y la utilización de porcentajes (en vez de dB) son adecuados.

En los sistemas P-MP, la mayoría de los enlaces son de salto único, por lo que se aplicaría la ecuación (14). En los sistemas P-P son típicos los despliegues multisalto, con lo que se aplicará la ecuación (15).

4 Sistemas del servicio fijo P-MP

La interferencia de las estaciones centrales de los sistemas P-MP debe evaluarse conforme a lo indicado en el § 2, en el caso de la modulación digital, aunque debe señalarse que estas estaciones emplean antenas omnidireccionales o sectoriales. Los diagramas de radiación de referencia en el plano de elevación de dichas antenas se describen en la Recomendación UIT-R F.1336. Si procede, puede evaluarse en la evaluación de la interferencia el efecto de la inclinación hacia abajo del haz de las antenas.

La interferencia en las estaciones de abonado de los sistemas del servicio fijo P-MP debe también evaluarse conforme a lo indicado en el § 2, en el caso de la modulación digital. Para este caso, se supone generalmente que las direcciones acimutales de las antenas de estación de abonado se distribuyen uniformemente en 0°-360°, observando que, en general, no es factible en estos sistemas la evitación de la órbita.

5 Zona de pruebas

Un gran número de rutas y estaciones del servicio fijo se distribuyen aleatoriamente en latitud, longitud y acimut (a fin de asegurar la estabilidad y la convergencia de las estadísticas) en una zona de pruebas de usuario definida. Para asegurar una exposición uniforme a todos los ángulos de llegada, la dimensión longitudinal de la zona de pruebas debe ser un múltiplo entero de la separación entre satélites, en el caso de satélites separados uniformemente, y la dimensión en latitud de la zona de prueba debe ser suficientemente grande. Como alternativa, la zona de prueba puede definirse de forma que abarque el territorio de una administración, de forma que puedan evaluarse los parámetros específicos a dicha administración. En este caso, los emplazamientos de los satélites pueden estar especificados.

6 Constelación de satélites

Generalmente se supone una órbita entera con satélites igualmente separados al investigar un nuevo servicio de satélite. Como alternativa, deben encajarse emplazamientos de los satélites definidos por el usuario. Otra opción permitiría los emplazamientos aleatorios en un arco orbital especificado.

El modelo debe permitir la evitación de la órbita en las situaciones en que esta técnica es práctica para el servicio fijo. En general, los sistemas del servicio fijo con despliegue ubicuo no pueden aprovechar esta técnica.

7 Contorno de la dfp

Se supone que todos los satélites transmiten los niveles máximos permitidos por la curva supuesta de la dfp. Ésta es una hipótesis prudente respecto al nivel de interferencia. El contorno consta de

segmentos rectilíneos de dfp en función del ángulo de llegada (desde 0° a 90°). El modelo debe permitir especificar múltiples segmentos.

También pueden obtenerse contornos estadísticos de la dfp para tener en cuenta las coberturas de zona de servicio de satélite. Se requieren estudios adicionales a este respecto.

8 Parámetros del servicio fijo

En la simulación por computador deben especificarse el factor de ruido (o el umbral mínimo del ruido térmico) y las pérdidas del alimentador comunes a todas las estaciones del servicio fijo. Además, deben especificarse la ganancia y el diagrama comunes de las antenas. Para la selección por el usuario, pueden incluirse en el fichero de antena, por ejemplo, los diagramas de antena por defecto siguientes:

- Recomendación UIT-R F.1245, *recomienda 2*, para los sistemas P-P copolares con las fuentes de interferencia.
- Recomendación UIT-R F.1245, *Nota 7* para los sistemas P-P con discriminación lineal/circular en las condiciones de acoplamiento de haz principal con haz principal.
- Recomendación UIT-R F.1245, *Anexo 1* para los sistemas P-P con estructura en seno cuadrado de los lóbulos laterales.
- Recomendación UIT-R F.699 para los sistemas P-P copolares con las fuentes de interferencia.
- Recomendación UIT-R F.1336 para los sistemas P-MP con antenas de estación central.
- Recomendación UIT-R F.1336 para los sistemas P-MP con antenas de estación de abonado.

Además, el algoritmo debe aceptar diagramas definidos por el usuario que puedan constar, por ejemplo, de un lóbulo principal definido por la apertura de haz de 3 dB con una discriminación que varíe en función del cuadrado del ángulo respecto al eje y la transición a una región de cada lóbulo lateral lineal (en una escala logarítmica de ángulo respecto al eje). Estos diagramas definidos por el usuario pueden introducirse en un fichero de diagramas de antena para aplicaciones futuras.

9 Otras consideraciones

9.1 Criterios de interferencia

Para las bandas en que el desvanecimiento está controlado por la propagación por trayectos múltiples, la Recomendación UIT-R F.758 indica que, en principio el nivel de interferencia relativo al ruido térmico del receptor no debe exceder de -10 dB (o -6 dB). En el caso de sistemas digitales del servicio fijo, estos valores corresponden a una DFP_{salto} de 10% (ó 25%), respectivamente. Se recomienda adoptar, si es posible, el valor de -10 dB. No obstante, en ciertas situaciones difíciles de compartición, se ha visto que es extremadamente difícil aplicar el requisito de -10 dB para facilitar la compartición de frecuencias. Por ejemplo, las Recomendaciones UIT-R M.1141 y UIT-R M.1142 que tratan de la compartición de frecuencias entre sistemas del servicio fijo y estaciones espaciales (geoestacionarias o no geoestacionarias) del SMS en la gama 1-3 GHz se basan en el requisito de -6 dB.

En una evaluación estadística de la interferencia, es necesario establecer un cierto porcentaje admisible de estaciones o rutas en las que la interferencia combinada pueda rebasar el criterio de interferencia. Es preferible que este porcentaje sea lo más pequeño posible, aunque en ciertas situaciones difíciles de compartición, se ha visto que es extremadamente difícil adoptar un porcentaje admisible muy pequeño. Por ejemplo, en dichas situaciones, el 10% de los receptores del servicio fijo estudiados pueden estar preparados para aceptar una interferencia que rebase el criterio de interferencia preferido. De forma similar, puede definirse un cierto porcentaje admisible de rutas en las que la DFC puede rebasar el criterio de dicha DFC.

Se especifican dos pares de criterios de calidad:

| | |
|-------------------------------|---|
| Objetivo de I/N de receptor | Porcentaje de estaciones receptoras a las que se permite rebasar el objetivo del receptor |
| Objetivo de DFC de la ruta | Porcentaje de rutas a las que se permite rebasar el objetivo de la ruta |

Cualquiera de estos pares de criterios de calidad puede ser aplicable en una situación determinada.

9.2 Atenuación de la propagación

La atenuación mínima de la propagación debida a los gases atmosféricos que debe utilizarse en los estudios de compartición de frecuencias entre sistemas del servicio fijo y satélites de los diversos servicios espaciales figura en las Recomendaciones UIT-R SF.1395 y UIT-R F.1404.

9.3 Órbitas ligeramente inclinadas

El servicio por satélite con antenas casi omnidireccionales permite a los operadores de satélites aprovechar las economías de combustible derivadas de la flexibilidad en el mantenimiento en posición Norte-Sur y permite emplear órbitas de satélite ligeramente inclinadas. Esto da lugar a ángulos de llegada de la interferencia a las redes terrenales que varían diariamente, ampliando de hecho el arco orbital por debajo del horizonte radioeléctrico estático durante parte del tiempo y aumentando el ángulo de llegada (y de ahí la dfp) de la interferencia de los satélites situados por encima del horizonte, durante otra parte del tiempo. Un mecanismo sencillo para evaluar este efecto consiste en modificar, a efectos de cálculo, la latitud de la estación del servicio fijo: puede determinarse la latitud nominal de la estación, la latitud nominal de la estación más la inclinación máxima de la órbita y la latitud nominal de la estación menos la inclinación máxima de la órbita (véase también a este respecto la Recomendación UIT-R SF.1008).

10 Resultados

Los resultados necesarios son las funciones de distribución de probabilidad de la I/N combinada o la DFC para cada una de las estaciones del servicio fijo (DFC_{salto}) y las DFC de la ruta (DFC_{ruta}). Entre los resultados opcionales está la $\{I/N, \text{acimut}\}$ y la $\{I/N, \text{ángulo de llegada}\}$ para la presentación en diagramas de dispersión. Este último resultado es útil para sintetizar el contorno de la dfp. Estos resultados opcionales no exigen un procesamiento adicional, pues los parámetros ya se han calculado.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 2

Modelo de soporte lógico para la evaluación de la probabilidad de interferencia sobre una base de sistema P-P multisalto**1 Introducción**

En las bandas de frecuencia en las que se vaya a aplicar una metodología probabilística de la interferencia, el servicio fijo es el servicio existente, mientras que el servicio por satélite es el sistema de llegada desconocido. Es por tanto natural, al asignar parámetros en el modelo de soporte lógico, fijar el mayor número posible de parámetros del servicio fijo y variar los parámetros del satélite.

En este modelo, se combina un enfoque de cobertura de zona con los análisis estadísticos de interferencia de un conjunto de estaciones y rutas individuales. El despliegue primario de satélite es un despliegue con separación uniforme de los satélites y contornos uniformes de dfp. Por simplicidad puede suponerse este despliegue, observando que se trata de un enfoque prudente. Opcionalmente, puede haber emplazamientos de satélite definidos por el usuario o despliegues aleatorios. Se supone una geometría de líneas rectas simples y tierra esférica suave.

2 Parámetros de entrada del modelo**2.1 Parámetros del satélite**

- Contorno de la dfp {punto de cruce del ángulo de llegada/niveles de la dfp}; se suponen segmentos lineales y número de puntos de cruce, especificados por el usuario, comunes a todos los satélites.
- Separación uniforme en la órbita de satélites geostacionarios (debe ser un divisor entero de 360°), órbita completa; (opcionalmente, el parámetro de entrada pueden ser emplazamientos definidos en la órbita o satélites separados aleatoriamente en un arco orbital especificado).
- Inclinação de la órbita (por ejemplo, 0° o 5°), que se aplica a todos los satélites.

2.2 Criterios de calidad del servicio fijo

- Nivel necesario de protección (por ejemplo, $DFC_{ruta} = 10\%$ o 25% , I/N de la estación = -10 dB o -6 dB).

2.3 Parámetros de la zona de prueba del servicio fijo

- Límites de la longitud, límites de la latitud.
- Modelo de pérdidas atmosféricas (selección a partir de un menú que relaciona las pérdidas atmosféricas que han de aplicarse con la potencia de la interferencia, sobre la base del ángulo de llegada y la región geoclimática; son cero si no hay ninguna).
- Modelo de refracción (selección a partir de un menú de modelos que relaciona los ángulos de refracción máxima, la latitud y la región geoclimática; es cero si no hay ninguno).

- Modelo de desvanecimiento debido a la lluvia, si es aplicable, es decir, si ha de aplicarse el desvanecimiento debido a la lluvia a la potencia de interferencia (selección a partir de un menú de niveles de desvanecimiento debido a la lluvia que han de aplicarse, ángulo de llegada y dependencias con el ángulo respecto al eje y la región geoclimática; cero si no hay ninguno).

(Se requieren nuevos estudios para generar menús adecuados de los modelos anteriores del fenómeno de ángulo de llegada reducido, sobre la base de las Recomendaciones UIT-R, teniendo presente que, en general, estos fenómenos afectan únicamente de forma sustancial a los casos casi más desfavorables de exposición y que el significado de estos casos de exposición se reduce por el enfoque probabilístico.)

2.4 Parámetros de la estación del servicio fijo

- Ángulo de evitación de la órbita (cero si no hay ninguno).
- Número de rutas en la zona víctima:
 - Número máximo y mínimo de saltos por ruta: número total resultante de estaciones ($\Sigma_{todas\ las\ rutas}$ (número de estaciones por ruta)); debe ser tan grande como permitan la memoria del computador y las limitaciones de velocidad.
 - Longitudes mínima y máxima del salto (no son necesarias para el análisis de una sola estación).
 - Variación máxima del acimut respecto a la línea de tendencia de la ruta (no es necesario para el análisis de una sola estación).
- Parámetros de la estación; los distintos tipos de estación requieren cálculos separados. En un cálculo, son comunes a todas las estaciones los parámetros indicados a continuación:
 - Ganancia y diagrama de la antena (a partir de una lista incorporada (incluyendo opciones tales como la discriminación lineal/circular y la estructura del lóbulo lateral); debe haber la posibilidad de introducir en la lista otras antenas.
 - Pérdidas del alimentador.
 - Factor de ruido.
 - Función cuantificada de la distribución del ángulo de elevación (e_{i-1} a e_i , probabilidad). Se supone un máximo de 100 pares de gamas de ángulo de elevación y probabilidad de valores de aparición para cada distribución ($i = 1$ a $I_{elev\ máx}$), observando que los distintos tipos de estación tendrán probablemente estadísticas diferentes de ángulos de elevación (se suelen utilizar antenas grandes cuando se requiere una gran ganancia para compensar las pérdidas elevadas de las longitudes de trayecto largas, y esas longitudes largas implican ángulos de elevación reducidos). La distribución del ángulo de elevación debe ser simétrica respecto a los ángulos de elevación cero.

3 Proceso de selección de parámetros

Se establece una lista ponderada de cien valores (correspondencia con los valores porcentuales) para la distribución del ángulo de elevación. Un puntero aleatorio con distribución uniforme selecciona el ángulo de elevación de cada estación.

(El símbolo « $\Rightarrow < 1 \gg$ » indica el inicio del bucle 1; « $RANDx$ »= número aleatorio distribuido uniformemente entre 0 y 1.)

⇒ **< 1 >** se eligen los puntos de inicio de la ruta y las líneas de tendencia (aleatorización de los parámetros):

- $latitud = latitud(mín) + RAND1 * (latitud(máx) - latitud(mín));$
- $longitud = longitud(mín) + RAND2 * (longitud(máx) - longitud(mín));$
- $trend_line_azimuth = RAND3 * 360$ si sólo hay una dirección de transmisión = $90 + RAND3 * 180$ si ambos sentidos de la transmisión están sometidos a la interferencia de satélite procedente del mismo servicio por satélite; la ruta de dirección «go» (línea de tendencia de acimut 90° hasta 180° y 270°) se invierte para el sentido «return» de transmisión (270° hasta 0° y 90°) y la mayor de las dos degradaciones determina la calidad de la ruta;
- $número\ de\ saltos = salto(mín) + RAND4 * (salto(máx) - salto(mín)).$

(Únicamente para el análisis de una sola estación (es decir, número mínimo de saltos = número máximo de saltos = 1), el acimut de la línea de tendencia es el acimut de la estación y se supone que ésta es un receptor.)

Se seleccionan los emplazamientos de estación:

- El primer emplazamiento de estación es el mismo que el punto de inicio de la ruta; se supone que la primera estación es una estación transmisora en este contexto, a menos que sólo haya una estación en la ruta.

⇒ **< 2 >** para la segunda y las siguientes estaciones en ruta:

- $acimut = trend_line_azimuth + (2 * RAND5 - 1) * max\ hop_azimuth_variation;$
- ángulo de elevación = valor medio de la gama que señala «Nearest_integer{100 * RAND6}»
verificar si se aplica la evitación de la órbita (véase que las estaciones con ángulos de elevación por encima de cero pueden interceptar la órbita por encima del horizonte). Si se aplica la evitación y la dirección del haz principal está dentro del ángulo de evitación, se rechaza la estación y se va a **< 2 >**;
- $longitud\ del\ salto = longitud\ del\ salto(mín) + RAND7 * (longitud\ del\ salto(máx) - longitud\ del\ salto(mín));$
- se determina la latitud y la longitud de la estación.

Si la estación se encuentra fuera de la zona de prueba, se rechaza el emplazamiento de la estación. Se va a **< 2 >**.

Se repite para todos los saltos de la ruta. Se va a **< 2 >**.

Se repite en todas las rutas de la zona especificada. Se va a **< 1 >**; véase que si hay que evaluar la interferencia en ambos sentidos de la transmisión, el sentido «return» de la ruta tiene la lista inversa de los emplazamientos de estaciones. Acimut complementarios y complementos de ángulos de elevación respecto a los parámetros de la ruta del sentido «go».

Se almacena el conjunto de parámetros de la estación del servicio fijo $\{\{FS\}\} = \{\{tipo\ (ganancia\ y\ diagrama\ de\ antena,\ factor\ de\ ruido,\ pérdidas\ de\ alimentador),\ número\ de\ ruta,\ emplazamiento\ de\ la\ estación\ (latitud,\ longitud),\ acimut,\ ángulo\ de\ elevación\}\}$.

Para satélites con igual separación, la longitud de referencia de la constelación se expresa en relación con la longitud media de la zona de prueba « $long_{mid}$ ». Se generan los emplazamientos de satélites.

- $longitud\ del\ satélite\ long_m = long_{mid} + m * (360 / number_of_satellites),$
 $m = 0\ a\ (number_of_satellites - 1)$

Para satélites situados aleatoriamente:

- $longitud\ del\ satélite\ long_m = longitud\ del\ arco\ mín + RAND8*(longitud\ del\ arco\ máx - longitud\ del\ arco\ mín)$
- ⇒ <3> Para cada ruta
- ⇒ <4> Para cada estación de la ruta
- ⇒ <5> Para cada satélite de la constelación.
- se calcula el ángulo nominal de llegada al satélite, se calculan los ángulos de llegada con excursiones máxima y mínima de la inclinación de la órbita, dejando margen para la refracción;
- si cualquiera de estos ángulos de llegada es más negativo que el ángulo de refracción se utiliza el marcador «ignore» para cálculos futuros. Si todos estos ángulos de llegada son más negativos que el ángulo de refracción, se va a <5> para seleccionar el siguiente satélite, y además
- se calculan los ángulos respecto al eje, las ganancias de antena, el máximo de los tres valores $I/N|_{single\ entry}$ {relaciones de potencia}, teniendo en cuenta la atenuación atmosférica (función del ángulo de llegada) y el desvanecimiento debido a la lluvia (función del ángulo respecto al eje y del ángulo de llegada), si procede.

Se va a <5>, siguiente satélite

- se calcula $I/N|_{aggregate} = \Sigma_{all\ satellites} (I/N|_{single\ entry})$, $I/N|_{station} = 10 \log(I/N|_{aggregate})$ (dB)
- NOTA 1 – El Apéndice 2 de este Anexo describe con más detalle la obtención de $I/N|_{aggregate}$.

Se va a <4>, siguiente estación en la ruta

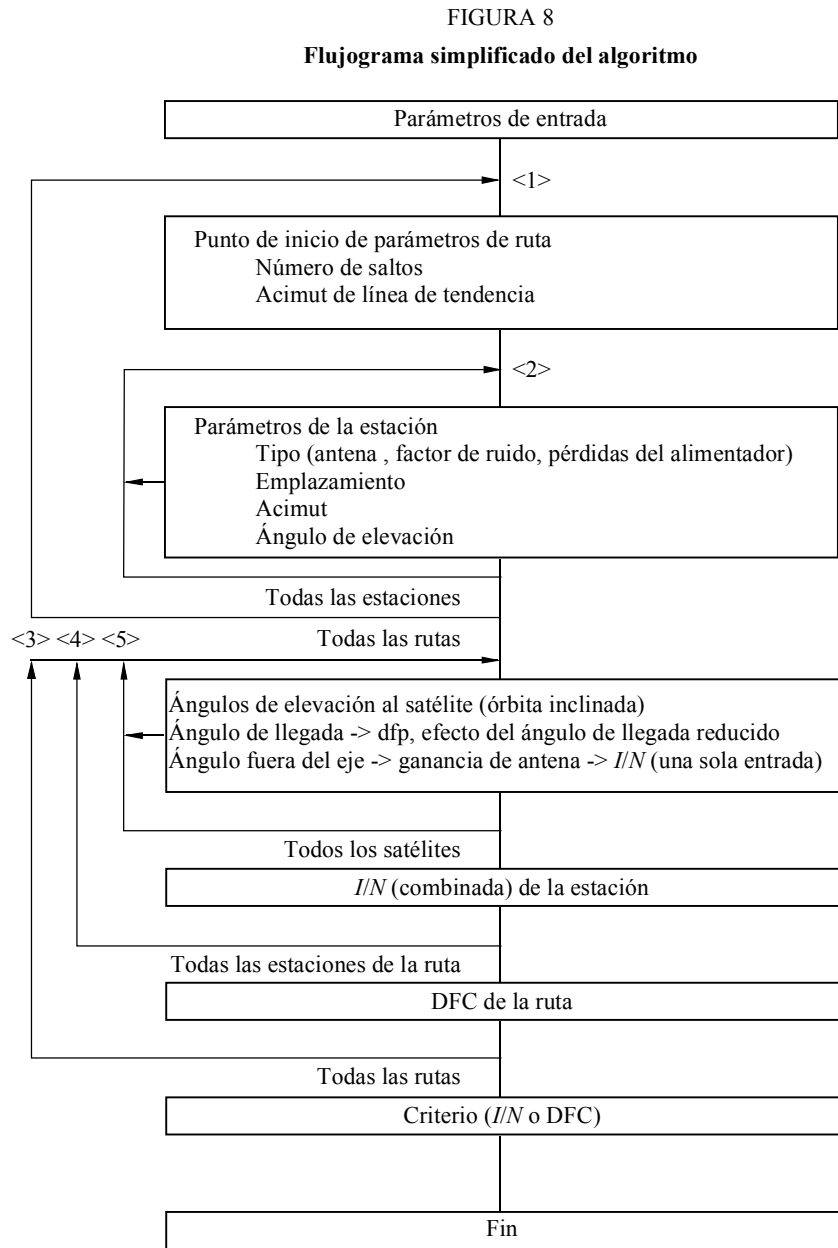
- se calcula la $DFC_{ruta} = \Sigma_{all\ station} (I/N|_{aggregate})/n$ sumatorio para todas las n estaciones en la ruta.

Se va a <3>, siguiente ruta

- se genera la función de distribución de probabilidad (fdp) de los valores $I/N|_{aggregate}$ de la estación creando una lista ordenada de valores, de mayor a menor, numerando la lista de anotaciones, es decir, $(j, I/N|_j: j = 1 \text{ à } J)$ y entonces $\{100*j/J\}$ es el percentilo correspondiente al valor de $I/N|_j$ en el que todas las estaciones siguientes tienen una calidad mejor (peor) que $I/N|_j$ Se genera la fdp de la DFC de la ruta de forma similar;
- se determina a partir de las fdp,
 - el porcentaje de estaciones o de rutas, según el caso, con el criterio de calidad asociado («%stations_at_I/Ncriterion» y «%routes_at_FDPcriterion»); y
 - el valor de la I/N o la DFC según el caso, con el porcentaje definido de estaciones o rutas, respectivamente («I/N_at_Pstation» y «FDP_at_Proute»);
- resultado de las funciones de distribuciones de probabilidad de la I/N de la estación y la DFC de la ruta: {valor I/N , probabilidad de que se rebase I/N }: {valor de DFC, probabilidad de que se rebase la DFC} para presentación en forma de gráfico. Resultado de los valores obtenidos: «%stations_at_I/Ncriterion, %routes_at_FDPcriterion, I/N_at_Pstation y FDP_at_Proute.»

4 Comentarios

La Fig. 8 muestra un flujograma del proceso mencionado.



1107-08

El criterio de « $I/N_{at_P_{station}}$ » indica la cuantía que debe reducirse el contorno de la dfp. Por ejemplo, suponiendo que ha de mantenerse la transición del nivel original de la dfp con ángulo bajo de llegada al nivel de dfp con ángulo elevado de llegada, si la calidad aceptable es que el 90% de las estaciones tengan una I/N inferior o igual a -10 dB, y si el criterio « $I/N_{at_P_{station}}$ » (dB) rebasa este valor, el contorno de la dfp debe reducirse en la diferencia $\{\langle I/N_{at_P_{station}} \rangle - (-10)\}$ para cumplir el criterio. De forma similar, si la calidad aceptable es que el 90% de las rutas tengan una DFC inferior o igual al 25% y si el criterio de « $FDP_{at_P_{route}}$ » (%) rebasa este valor, el contorno de la dfp debe reducirse en la diferencia $\{10 \log(\langle FDP_{at_P_{route}} \rangle / 100) - 10 \log(0,25)\}$ para cumplir el criterio.

Un diagrama de dispersión de los valores calculados en la I/N en función del ángulo de llegada permitirá desarrollar, si se desea, una transición diferente.

Debe introducirse de forma bastante directa un banco de datos real de estaciones receptoras y/o constelaciones de satélite conocidas del servicio fijo, en lugar de un conjunto aleatorio de estaciones y la constelación uniforme, para obtener una imagen real, si se desea. Evidentemente, la posibilidad de estas opciones deberá incorporarse en las rutinas de entrada de datos.

APÉNDICE 2

AL ANEXO 2

Obtención de la $I/N_{aggregate}$ para cada uno de los receptores del servicio fijo

La metodología se basa en el algoritmo siguiente:

- se considera una separación determinada entre los satélites geoestacionarios, $Long_{ref} = 360/nb_sat$;
- se considera un contorno de dfp aplicable a cada satélite geoestacionario;
- se considera una latitud y una longitud del sistema del servicio fijo determinadas:
 - para cada acimut de puntería del servicio fijo (varía entre 0° y 360°)
 - para cada longitud relativa de constelación de satélites ($\Delta long$ que varía de 0° a $Long_{ref}$);
- se calcula la interferencia combinada a la entrada de receptor del servicio fijo procedente de todos los satélites geoestacionarios visibles;
- se calcula la I/N resultante en el receptor del servicio fijo.

$$\frac{I}{N}(acimut, \Delta long) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{vis} \left(pfd_i(\Delta long) + G(\theta_i(acimut, \Delta long)) + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - FL \right)$$

donde:

$\frac{I}{N}(acimut, \Delta long)$: I/N combinada resultante de todos los satélites geoestacionarios visibles en el receptor del servicio fijo, siendo, $\Delta long$ la longitud relativa de la constelación del satélite y $acimut$ el acimut de puntería de la antena de la estación del servicio fijo

$pfd_i(\Delta long)$: dfp en la estación del servicio fijo procedente del satélite geoestacionario visible i

$\theta_i(acimut, \Delta long)$: ángulo fuera del eje entre la dirección de puntería de la antena del servicio fijo y la dirección en la que se ve el satélite i -ésimo desde la estación del servicio fijo (en el caso de estaciones centrales de sistemas P-MP, $\theta_i(acimut, \Delta long)$ debe sustituirse por $elev_i(\Delta long)$ que es la diferencia entre la elevación de puntería de la antena del servicio fijo y la elevación con la que se ve el satélite i -ésimo). Cuando las estaciones del servicio fijo direccionales tienen ángulo de elevación distinto de cero, el ángulo fuera del eje se modifica en consecuencia

- $G(\theta)$: ganancia de la antena del servicio fijo para el ángulo θ fuera del eje
- λ : longitud de onda
- FL : pérdidas del alimentador del servicio fijo
- vis : número de satélites visibles desde la estación del servicio fijo
- N : ruido térmico del receptor del servicio fijo.

Esto permite determinar un cuadro de valores de la I/N (o de la DFC) en la estación de receptor del servicio fijo, en función del acimut del apuntamiento de la estación del servicio fijo y de la longitud relativa de la constelación del satélite y de ahí, una fdp de la I/N o la DFC_{salto} de la estación del servicio fijo o la DFC_{ruta} de la ruta (todas las rutas situadas dentro de una zona de prueba determinada) para un contorno de dfp y una separación de satélites geoestacionarios determinados.
