

## RECOMENDACIÓN UIT-R SF.1649

**Directrices para determinar la interferencia procedente de estaciones terrenas a bordo de barcos sobre estaciones del servicio fijo cuando la estación terrena a bordo de barco está a una distancia inferior a la distancia mínima<sup>\*,\*\*</sup>**

(Cuestiones UIT-R 226/9 y UIT-R 254/4)

(2003)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la CMR-2000 aprobó la Resolución 82 (CMR-2000) solicitando que el UIT-R finalizara con carácter urgente sus trabajos sobre estaciones terrenas a bordo de barcos (ESV), en particular, para que éstas no tengan la capacidad potencial de producir interferencia inadmisiblesobre estaciones de otros servicios de cualquier administración;
- b) que los barcos pueden estar equipados para operar estaciones ESV del SFS que transmitan sobre redes del SFS utilizando las bandas de 5 925-6 425 MHz (Tierra-espacio) de conformidad con el número 4.4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR);
- c) que los barcos pueden estar equipados para funcionar como ESV en la banda de 14-14,5 GHz de conformidad con el número 4.4 del RR o como servicio secundario del SMS;
- d) que algunas de las bandas de frecuencias mencionadas en los *considerando* b) y c) están compartidas a título primario con el servicio fijo;
- e) que si las ESV fueran autorizadas a operar en rutas marítimas y en canales de navegación próximos a la costa, sería necesario definir zonas comunes para este tipo de operaciones;
- f) que la Recomendación UIT-R SF.1585 proporciona una forma de definir dicha zona;
- g) que deben analizarse las estaciones del servicio fijo situadas dentro de dicha zona para determinar si sufrirán una interferencia superior a la admisible;
- h) que muchos sistemas del servicio fijo funcionan con control automático de potencia de transmisión (ATPC);

---

\* Para la definición de «distancia mínima» véase la Recomendación UIT-R SF.1650.

\*\* Las Administraciones de Arabia Saudita, Djibouti, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, Jordania, Kuwait, Marruecos, Mauritania, República Árabe Siria, Túnez y Yemen, se opusieron a la aprobación de la presente Recomendación por razones indicadas en el Informe AR-03 a la CMR-03.

Las Administraciones de Alemania, Australia, Canadá, Estados Unidos e Israel reservan su opinión en la presente Recomendación por las razones indicadas en el Informe AR-03 a la CMR-03.

Las Administraciones de Gabón y Senegal se reservan su opinión en la presente Recomendación.

- j) que los eventos de interferencia de duración superior a unos pocos segundos pueden dar lugar a interrupciones significativas del servicio a largo plazo en sistemas digitales del servicio fijo;
- k) que las Recomendaciones UIT-R SF.1006 y/o UIT-R SM.1448 proporcionan métodos que pueden utilizarse para determinar la interferencia potencial entre estaciones del SFS y estaciones del servicio fijo cuando las ESV se encuentran inmóviles (véase la Nota 1);
- l) que la metodología para determinar el nivel de interferencia de las ESV sobre estaciones del servicio fijo está sujeta al acuerdo entre las administraciones afectadas;
- m) que, no obstante, algunas administraciones pueden considerar de utilidad disponer de directrices para la evaluación detallada de los niveles de interferencia a fin de realizar un análisis preliminar de la misma;
- n) que las Recomendaciones UIT-R F.696 y UIT-R F.1565 definen criterios de interferencia admisibles para estaciones del servicio fijo;
- o) que se necesitan métodos y criterios de interferencia distintos para determinar la interferencia potencial de ESV cuando éstas no se encuentran paradas,

*recomienda*

- 1 que las directrices descritas en el Anexo 1 pueden utilizarse como referencia para la evaluación global de la interferencia procedente de ESV que funcionan a una distancia de estaciones del servicio fijo inferior a la «distancia mínima»;
- 2 que las directrices del Anexo 2 pueden utilizarse como base para el cálculo de la interferencia procedente de las ESV (véanse las Notas 2 y 3);
- 3 que los resultados de la aplicación del método del Anexo 2 pueden utilizarse para determinar si las ESV pueden funcionar con parte de las bandas de frecuencia mencionada en el *considerando* b) cuando se encuentran a una distancia inferior a la «distancia mínima» (véase la Nota 3).

NOTA 1 – Los métodos de esta Recomendación utilizan los criterios de protección frente a interferencias del servicio fijo. A título de ejemplo, la Recomendación UIT-R SF.1006 proporciona dichos criterios, pero los criterios aplicables a corto plazo pueden ser conformes sólo con la Recomendación UIT-T G.821. Por otro lado, la Recomendación UIT-R SF.1650 proporciona criterios de protección a corto plazo del servicio fijo para enlaces actualizados diseñados para cumplir los requisitos de las Recomendaciones UIT-T G.826 y UIT-T G.828.

NOTA 2 – Cuando se identifiquen frecuencias para las ESV, puede ser necesario tener en cuenta técnicas de mitigación. Por ejemplo, cuando las disposiciones de frecuencias del servicio fijo se basen en la Recomendación UIT-R F.383, la utilización de la banda central del servicio fijo en 6 GHz (cerca de 6,175 GHz) por los transmisores de la ESV puede reducir significativamente la interferencia potencial sobre los receptores del servicio fijo puesto que al considerar la interferencia sobre cualquier canal del servicio fijo, el filtrado en el receptor constituye un factor beneficioso.

NOTA 3 – El método del Anexo 2 puede complementarse con el método del Anexo 3.

## Anexo 1

### **Directrices para la identificación y utilización de puntos del contorno de maniobra\* para determinar las interferencias producidas por las emisiones de una ESV en movimiento sobre una estación del servicio fijo (método de los puntos de contorno críticos)**

El método siguiente puede utilizarse como referencia para la evaluación global de la interferencia sobre estaciones del servicio fijo procedente de ESV que funcionan a una distancia inferior a la distancia mínima.

#### **1 Introducción**

El método para la evaluación de la interferencia potencial entre una estación del SFS y una estación del servicio fijo es el que figura en la Recomendación UIT-R SF.1006, en el cual se supone que existe una relación espacial constante entre las estaciones del SFS y del servicio fijo. Las ESV en movimiento dentro de un puerto o ensenada que se dirigen a un muelle o que se disponen a anclar tienen una relación variable con las estaciones del servicio fijo en movimiento.

La Recomendación UIT-R SF.1585 describe un método para utilizar el contorno de maniobra de barcos equipados con ESV al objeto de determinar una zona que pueda ser utilizada para identificar estaciones del servicio fijo que podrían experimentar una interferencia inadmisibles procedente de una ESV que se desplace a lo largo de dicho contorno. Con los procedimientos existentes, dicha interferencia perjudicial debería ser calculada como si la ESV permaneciera estática en cada punto a lo largo de la ruta del barco cuando éste se encuentra dentro de dicha zona.

Este Anexo proporciona una metodología denominada método de puntos de contorno críticos que simplifica la determinación de la interferencia potencial sobre estaciones del servicio fijo considerando un conjunto reducido de puntos del contorno de maniobra. Cada uno de dichos puntos se denomina punto de contorno crítico (PCC). Algunos de estos puntos son específicos del contorno de maniobra, mientras que otros son específicos de la estación del servicio fijo de que se trate.

#### **2 Consideraciones en la determinación de los PCC**

##### **2.1 Funcionamiento estacionario**

En el caso de funcionamiento de una ESV que no se encuentre en movimiento, la interferencia potencial puede evaluarse utilizando la Recomendación UIT-R SF.1006 o UIT-R SM.1448, o mediante cualquier procedimiento que haya sido acordado entre las administraciones implicadas, tal como se aplicaría a cualquier nueva estación del SFS.

##### **2.2 Funcionamiento en movimiento**

Cada estación del servicio fijo dentro de una zona concreta (por ejemplo, como se describe la Recomendación UIT-R SF.1585) debe ser examinada para determinar si experimentará una interferencia superior a la admisible. Normalmente, ello requiere evaluar la interferencia potencial sobre cada estación del servicio fijo desde cada punto de la ruta de un buque equipado con una ESV

---

\* El contorno de maniobra se describe en la Recomendación UIT-R SF.1585.

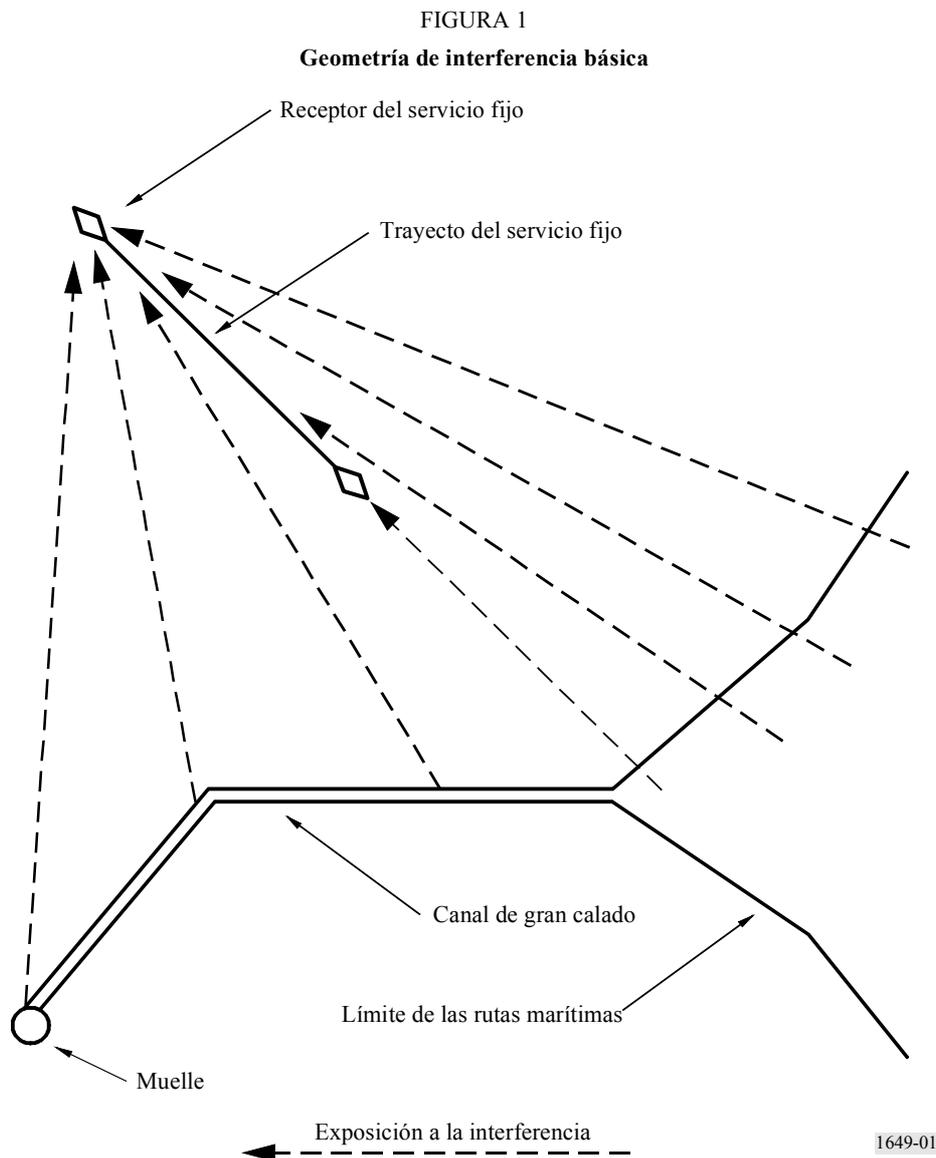
que se encuentre en movimiento dentro del contorno de maniobra. Sin embargo, la metodología del PCC ofrece un enfoque que permite reducir dichos requisitos de cálculo identificando un número reducido de puntos para cada receptor del servicio fijo en una zona determinada.

### 2.2.1 Identificación de los PCC para cada receptor del servicio fijo potencialmente afectado

Para cualquier exposición a la interferencia sobre un receptor concreto del servicio fijo que proceda de una ESV situada en un barco en movimiento, existen en el cálculo tres variables relacionadas con la posición:

- atenuación de propagación que se supera durante todo el tiempo, salvo durante un porcentaje de tiempo dado. Esta atenuación es función de la longitud del trayecto de interferencia y de la zona radiometeorológica, e igualmente puede incluir los efectos de cualquier obstrucción que exista en el trayecto de interferencia;
- la ganancia de la antena del receptor del servicio fijo, y
- la ganancia sobre el horizonte de la antena de la ESV.

Para cada punto del contorno de maniobra, definido por el canal de gran calado (véase la Fig. 1), pueden determinarse los tres factores mencionados.



Al objeto de evaluar la interferencia potencial, el contorno de maniobra se establece de forma aproximada mediante un conjunto de segmentos rectos. La identificación de los PCC depende de la posición y de la alineación del trayecto del servicio fijo con respecto al contorno de maniobra, debiéndose distinguir varios casos. En aquellos casos en que el acimut del eje del lóbulo principal de la antena del servicio fijo no cruce parte alguna de la zona de maniobra de la ESV, los PCC son los puntos a lo largo del contorno de maniobra en que éste cambia de dirección o alcanza la distancia límite mar adentro más allá de la cual no es necesaria coordinación. En aquellos casos en que el acimut del eje del lóbulo principal de la antena del servicio fijo corta el contorno de maniobra, es necesario aumentar y/o modificar el número de PCC. En cualquier caso, deben utilizarse los mismos PCC para la interferencia a largo plazo y para la interferencia a corto plazo causada a la estación del servicio fijo considerada. La interferencia que una ESV en funcionamiento y en movimiento produce sobre un receptor del servicio fijo situado dentro de la zona en la que debe evaluarse la interferencia potencial desde la ESV, se calcula suponiendo para cada receptor el funcionamiento en cada PCC, utilizando modelos de atenuación de propagación como los de la Recomendación UIT-R P.452. El objetivo de esta evaluación es identificar frecuencias que puedan ser utilizadas por las ESV en movimiento sin causar niveles de interferencia inadmisibles sobre estaciones del servicio fijo.

Para identificar los PCC con respecto a un determinado receptor del servicio fijo, deben distinguirse tres casos:

*Caso 1:* Cuando el eje del lóbulo principal de la antena de recepción del servicio fijo no cruza el contorno de maniobra. Los únicos PCC necesarios para este caso son los puntos en los que el contorno de maniobra de la ESV cambia de dirección.

*Caso 2:* Cuando el lóbulo principal de la antena del servicio fijo (zona de hasta 10 dB de la ganancia máxima de la antena) se encuentra en su totalidad en un segmento del contorno de maniobra. Los puntos del contorno de maniobra en los que la ganancia de la antena se encuentra a 10 dB del máximo determinan dos PCC adicionales. El segmento del contorno de maniobra entre esos dos PCC contiene el punto de intersección natural (PIN), donde el eje del lóbulo principal de la antena del servicio fijo cruza el contorno de maniobra. El PIN siempre se considera como un PCC.

*Caso 3:* Cuando el PIN está suficientemente cerca de uno de los puntos en los que el contorno de maniobra cambia de dirección, de forma que el lóbulo principal de la antena del servicio fijo abarque más de un segmento del contorno de maniobra. Este caso es más probable cuando el PIN se encuentra próximo a uno de los puntos en los que el contorno de maniobra de la ESV cambia de dirección. Tal como ocurre en el Caso 2, la intersección del contorno de maniobra con los puntos a 10 dB del diagrama de radiación de la antena determina dos PCC adicionales; sin embargo, en este caso, no es necesario considerar el punto original dentro del lóbulo principal como PCC.

*Una posibilidad adicional:* Si existiese un punto del contorno de maniobra de una ESV desde el que la ganancia máxima sobre el horizonte de la ESV se dirige directamente hacia un receptor del servicio fijo, dicho punto del contorno puede ser considerado como un PCC adicional para dicho receptor del servicio fijo con independencia del caso aplicable.

### **2.2.2 Consideración de la interferencia a largo plazo**

La interferencia a largo plazo se determina como la suma de la potencia interferente desde cada segmento del contorno de maniobra que va desde el muelle hasta el final del contorno de maniobra, más allá del cual no se necesita coordinación. Es decir, es el resultado de la suma de las contribuciones resultantes del funcionamiento entre dos PCC sucesivos respecto a una estación

receptora del servicio fijo. El procedimiento del Anexo 2 utiliza el principio de la degradación fraccionaria de la calidad de funcionamiento (DFC) de la Recomendación UIT-R F.1108. La única diferencia es que la atenuación de propagación necesaria para el cálculo es la atenuación de propagación desde cada PCC que se supera durante todo el tiempo salvo durante el 20% del mismo. La contribución a la DFC desde cada segmento puede calcularse de forma cerrada en base a la potencia de interferencia media recibida debida al funcionamiento de la ESV en el segmento, incluido el efecto del tiempo invertido en cada segmento en múltiples pasadas de ESV. Para un segmento que no contenga un PIN esta media se calcula suponiendo que la suma de la ganancia (dB) de las antenas del servicio fijo y de la ESV varían de forma lineal a lo largo del segmento. La media sobre un segmento que contenga un PIN se determina suponiendo que el lóbulo principal de la antena del servicio fijo tiene un contorno gaussiano, tal como se indica en la Recomendación UIT-R F.1245.

El criterio que se aplica a esta interferencia es el nivel de potencia correspondiente a la interferencia a largo plazo de la Recomendación UIT-R SF.1006 o UIT-R F.758.

### 2.2.3 Consideración de la interferencia a corto plazo

El grado de aceptación de la interferencia a corto plazo puede determinarse valorando si la potencia de interferencia debida al funcionamiento cerca de cualquier PCC supera el valor especificado por el criterio a corto plazo durante más de un porcentaje de tiempo aceptable,  $p_{ST}$ . Para este fin, pueden utilizarse los criterios de interferencia a corto plazo de la Recomendación UIT-R SF.1650 para las bandas de 6 y 14 GHz.

La determinación de la potencia interferente a corto plazo debida al funcionamiento de la ESV cerca de un PCC depende de la atenuación de propagación sobre el trayecto desde dicho PCC. En concreto, depende de la atenuación de propagación que se supere durante todo el tiempo salvo un porcentaje muy pequeño del mismo, porcentaje que es inversamente proporcional al porcentaje de tiempo,  $p_{ESVi}$ , asociado al funcionamiento de la ESV cerca de dicho PCC. Este enfoque, que se describe con detalle en el Anexo 2, es similar al utilizado en la Recomendación UIT-R SF.1485, o en el § 2.2.2 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SM.1448. El porcentaje de tiempo asociado al funcionamiento de la ESV cerca de un PCC depende de la situación que sea aplicable de entre los tres casos descritos en el § 2.2.1.

Cuando el eje del lóbulo principal de la estación del servicio fijo tiene un punto de intersección natural sobre el contorno de maniobra de la ESV, el porcentaje de tiempo,  $p_{ESVi}$ , asociado al funcionamiento de la ESV cerca de dicho PIN está directamente relacionado con el tiempo que tarda una ESV en moverse a lo largo del contorno de maniobra entre dos puntos a 10 dB de ganancia de la antena del servicio fijo.

Excepto para los PCC adyacentes a un PIN, que se tratan como puntos extremos del contorno de maniobra, el porcentaje de tiempo,  $p_{ESVi}$ , depende del tiempo que tarda la ESV en desplazarse desde el punto medio del segmento precedente del contorno de maniobra hasta el punto medio del segmento siguiente del contorno de maniobra. Cuando el PCC es un punto extremo del contorno de maniobra, uno de dichos segmentos no existe y su contribución se considera nula.

También es probable que ocurran situaciones más complejas, pero éstas pueden ser tratadas utilizando un enfoque similar al aquí propuesto.

## 3 Aplicación de la metodología de los PCC para identificar el espectro disponible

El espectro disponible para terminales ESV en barcos que se encuentren en ruta hacia un puerto o en la cercanía del mismo, puede determinarse utilizando la metodología de PCC para evaluar si la

utilización de una frecuencia determinada resultará en una interferencia superior a la admisible entre la ESV y las estaciones del servicio fijo.

Una vez que se han determinado los PCC para una estación receptora del servicio fijo, puede utilizarse el Anexo 2 para determinar si son admisibles los niveles de interferencia a corto plazo y a largo plazo. Los rangos de frecuencia para los que el funcionamiento de las ESV no causa interferencia inadmisibles sobre ningún receptor del servicio fijo, pueden asignarse para ser utilizados por las ESV que visiten el puerto.

## **Anexo 2**

### **Cálculo de la interferencia procedente de ESV**

#### **1 Introducción**

La Resolución 82 (CMR-2000) se ocupa de las disposiciones relativas a ESV que funcionan en las bandas de frecuencias 3 700-4 200 MHz y 5 925-6 425 MHz. En el Grupo de Trabajo 4-9S se han desarrollado tres nuevas Recomendaciones, dos de las cuales sólo requieren que se consideren criterios de interferencia a corto plazo. En concreto, la Recomendación UIT-R SF.1650, que determina la distancia mar adentro más allá de la cual no es necesario tener en cuenta la interferencia sobre el servicio fijo, y la Recomendación UIT-R SF.1585, que determina la zona dentro de la cual debe tenerse en cuenta la interferencia potencial procedente de las ESV cuando éstas funcionen a una distancia inferior a la distancia mar adentro antes mencionada. Finalmente, la tercera es esta Recomendación, que determina la interferencia potencial que pueden producir las ESV cuando funcionan a una distancia inferior a dicha distancia mar adentro.

En el Anexo 1 se determinan los puntos que sirven para calcular la interferencia potencial de las ESV. Una vez que éstos se han determinado, es necesario considerar la interferencia sobre estaciones situadas más allá del horizonte radioeléctrico, así como la interferencia sobre estaciones que tienen un acoplamiento por visibilidad directa con las posiciones de funcionamiento de una ESV en movimiento. En caso de estaciones terrenas transmisoras fijas, la evaluación de la interferencia sobre receptores del servicio fijo más allá del horizonte está limitada por la aplicación de criterios de interferencia a corto plazo, y evaluación de la interferencia sobre receptores con acoplamiento por visibilidad directa está limitada por la aplicación de criterios de interferencia a largo plazo. La Recomendación UIT-R SF.1006 proporciona la metodología y los criterios para evaluar la interferencia a corto y a largo plazo, y recomienda que se cumplan ambos criterios para determinar la interferencia potencial. Si bien las ESV añaden complejidad a la determinación de la interferencia potencial, los principios son los mismos: las estaciones lejanas están protegidas de la interferencia de alta potencia y corta duración por los criterios a corto plazo; las estaciones cercanas están protegidas por los criterios a largo plazo, que protegen el margen de desvanecimiento del receptor. Este Anexo proporciona las bases para determinar la interferencia potencial en todos los casos de interés.

En el § 2 siguiente se describen las estadísticas de la atenuación de propagación entre dos estaciones situadas en la superficie de la Tierra y muestra, para trayectos de distintas longitudes, la relación entre la atenuación que se supera durante todo el tiempo salvo un porcentaje reducido y los criterios de interferencia a corto y a largo plazo que se aplican cuando la estación terrena transmisora se encuentra en una ubicación fija. En el § 3 se describe cómo calcular la interferencia potencial cuando existe la complejidad adicional a que da lugar el movimiento de la estación interferente, y se desarrolla un enfoque derivado de la utilización del concepto de DFC de la Recomendación UIT-R F.1108, junto con la metodología basada en los PCC del Anexo 1 a esta Recomendación. En

el § 4 se muestra que este enfoque permite disponer de un método para determinar el grado de aceptación de la interferencia potencial basado en los criterios de interferencia a largo plazo existentes. En el § 5 se incluye un enfoque para tener en cuenta la interferencia a corto plazo sobre la base del mismo conjunto de PCC.

## 2 Atenuación de propagación mínima requerida para un porcentaje de tiempo fijo con estaciones estáticas

La atenuación de propagación mínima requerida para cumplir el nivel admisible de potencia interferente en los terminales de la antena de una estación fija receptora para un porcentaje de tiempo,  $p$ , puede obtenerse a partir de la Recomendación UIT-R SM.1448, donde la atenuación mínima requerida es la atenuación que debe ser igualada o superada en el trayecto de atenuación previsto durante todo el tiempo salvo el  $p\%$ <sup>1</sup>. Por lo tanto:

$$L_b(p) = P_t + G_t + G_r - P_r(p) \quad \text{dB} \quad (1)$$

donde:

- $p$ : porcentaje máximo de tiempo durante el que puede superarse la interferencia máxima permitida
- $L_b(p)$ : atenuación mínima requerida (dB) del modo de propagación (1) durante el  $p\%$  del tiempo; es el valor que debe superar la atenuación del trayecto del modo de propagación predicho (1) durante todo el tiempo, salvo el  $p\%$  del mismo
- $P_t$ : nivel de potencia máxima transmitida disponible (dBW) en la anchura de banda de referencia en los terminales de la antena de una estación terrenal transmisora o de una estación terrena transmisora
- $P_r(p)$ : potencia interferente admisible de una emisión interferente (dBW) en la anchura de banda de referencia que puede superarse durante no más del  $p\%$  del tiempo en los terminales de la antena de una estación terrenal receptora sujeta a interferencia, cuando las emisiones interferentes tienen una única fuente
- $G_t$ : ganancia (dB, isótropa equivalente) de la antena de la estación terrenal o estación terrena transmisora. En el caso de una estación terrena transmisora, es la ganancia de la antena hacia el horizonte físico en un acimut dado
- $G_r$ : ganancia (dB, isótropa equivalente) de la antena receptora de la estación terrenal o estación terrena sujeta a interferencia. En el caso de una estación terrenal receptora, se debe utilizar la ganancia máxima del eje principal de la antena.

Para la interferencia a largo plazo, el porcentaje de tiempo que normalmente se utiliza es el 20% y la potencia interferente permitida es, de acuerdo con la Recomendación UIT-R SF.1006, la siguiente:

$$P_r(20) = 10 \log(k T_e B) + J \quad \text{dBW} \quad (2)$$

donde:

- $k$ : constante de Boltzmann,  $1,38 \times 10^{-23}$  J/K

---

<sup>1</sup> Cuando  $p$  es un porcentaje pequeño de tiempo, en el rango comprendido entre 0,001% y 1,0%, se dice que la interferencia es de corto plazo; si  $p \geq 20\%$ , se dice que la interferencia es de largo plazo.

- $T_e$ : temperatura de ruido térmico del sistema receptor (K), en el terminal de la antena receptora
- $B$ : anchura de banda de referencia (Hz), es decir, la anchura de banda en la estación receptora sujeta a interferencia y sobre la cual puede promediarse la potencia de la emisión interferente
- $J$ : relación (dB) entre la potencia interferente a largo plazo admisible procedente de una fuente interferente cualquiera y el ruido térmico del sistema receptor.

Para la interferencia a corto plazo, el porcentaje de tiempo es una parte del porcentaje total de tiempo permitido de interferencia. Para este análisis, se considera un porcentaje del 0,001%, siendo:

$$P_r(0,001) = 10 \log(k T_e B) + 10 \log(10^{M_s/10} - 1) \quad \text{dBW} \quad (3)$$

donde  $M_s$  es el margen de funcionamiento del enlace (dB).

Obsérvese que la potencia admisible de interferencia a corto plazo es significativamente superior a la potencia admisible de interferencia a largo plazo. Es decir,

$$P_r(0,001) - P_r(20) = 10 \log(10^{M_s/10} - 1) - J \quad \text{dB} \quad (4)$$

En la Recomendación UIT-R SF.1650 se utiliza un valor de  $M_s$  de 19 dB para calcular el nivel de potencia interferente admisible a corto plazo. Suponiendo que el valor representativo de  $J$  es -10 dB, la diferencia de la ecuación (4) sería la siguiente:

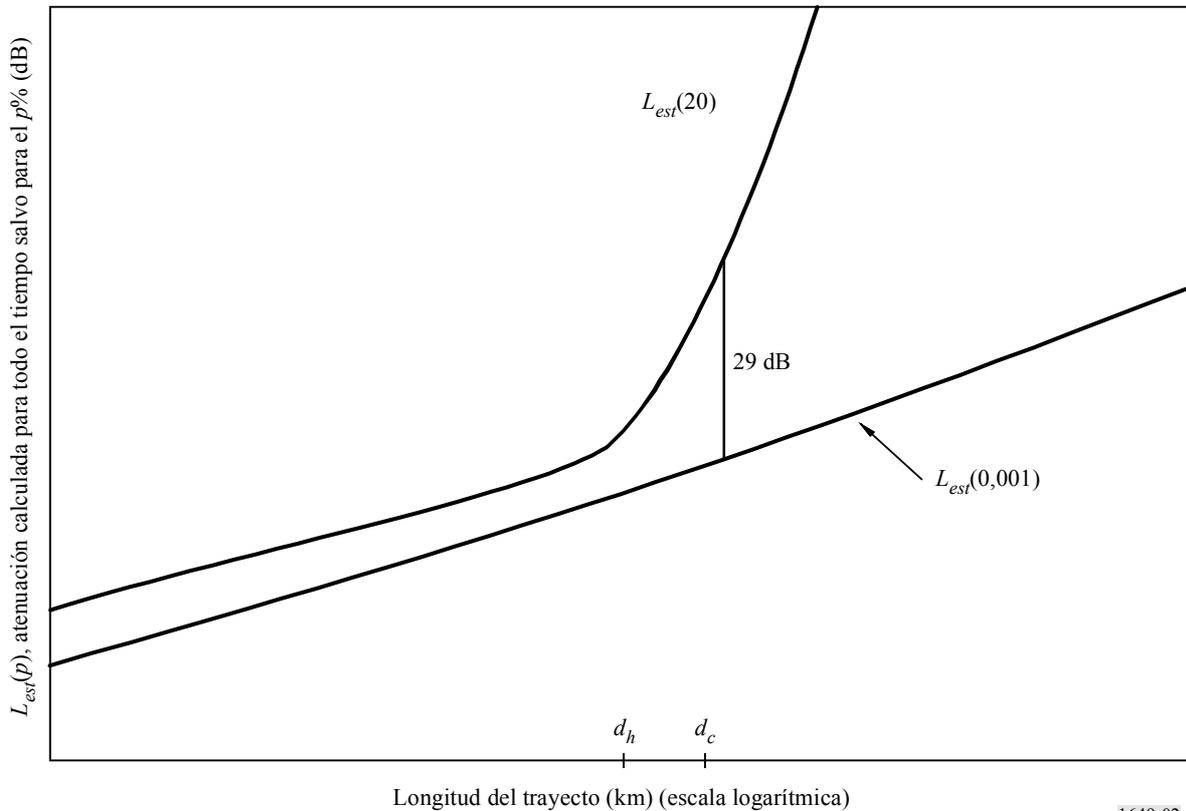
$$P_r(0,001) - P_r(20) \approx 29 \text{ P} \quad \text{dB} \quad (5)$$

Estos niveles de potencia interferente admisible pueden utilizarse en la ecuación (1) para determinar la atenuación de propagación mínima requerida que debe ser superada por la atenuación del trayecto durante todo el tiempo salvo el mismo porcentaje de tiempo. La atenuación de trayecto predicha que se supera durante todo el tiempo, salvo durante un porcentaje de tiempo  $p$ , puede calcularse mediante el procedimiento de la Recomendación UIT-R P.452, y se denomina  $L_{452}(p)$ . La variación con la distancia de la atenuación de trayecto predicha que se supera durante todo el tiempo, salvo durante el 20% del mismo, y durante todo el tiempo salvo el 0,001% es, típicamente, la que se muestra en la Fig. 2.

Para las alturas elegidas de las antenas, el trayecto de propagación desde la fuente interferente hasta el receptor del servicio fijo es prácticamente igual a la distancia del trayecto  $d_h$ . Para distancias mayores el receptor se encuentra más allá del horizonte radioeléctrico y la atenuación predicha que se supera durante todo el tiempo salvo el 20% del mismo,  $L_{452}(20)$ , aumenta rápidamente con la distancia. A la distancia crítica,  $d_c$ , la diferencia entre la atenuación predicha que se supera durante todo el tiempo salvo el 20%, es superior en 29 dB a la que se supera durante el 0,001% del tiempo. Por tanto, a esta distancia los criterios de interferencia a corto y a largo plazo para estos porcentajes de tiempo se cumplen ambos o no se cumple ninguno. Para distancias mayores, siempre se cumple el criterio de interferencia a largo plazo si se cumple el criterio a corto plazo. Para distancias inferiores siempre, se cumple el criterio a corto plazo si se cumple el criterio a largo plazo. Por este motivo, para determinar la zona de coordinación sólo se utiliza el criterio a corto plazo.

FIGURA 2

Variación con la distancia de la atenuación de trayecto predicha para todo el tiempo salvo para el 20% y el 0,001% respectivamente (estimada)



1649-02

### 3 Efecto de la variación con el tiempo de parámetros distintos a la atenuación de propagación

En caso de ESV, la potencia interferente en la antena receptora está sujeta a cambios en la potencia recibida debidos al movimiento de la estación terrena transmisora, así como a la variación con el tiempo de la atenuación de propagación. Las consideraciones relativas a la interferencia a corto y a largo plazo pueden tenerse en cuenta adaptando técnicas utilizadas en otras situaciones de compartición. En las cláusulas siguientes se presentan distintos procedimientos para tener en cuenta la interferencia a corto plazo y a largo plazo para ESV en movimiento.

#### 3.1 Consideración de la interferencia a corto plazo

Las consideraciones relativas a la interferencia a corto plazo procedente de las ESV no son distintas, pero sí más complejas, que las utilizadas para determinar la zona de coordinación de estaciones fijas receptoras respecto a estaciones terrenas que operan con estaciones espaciales no OSG. En el caso de sistemas no OSG, sólo varía con el tiempo la ganancia hacia el horizonte,  $G_t$ , que se muestra en la ecuación (1). Se sugiere utilizar el método de la ganancia dependiente del tiempo (TVG, *time-varying gain*), que se describe en el § 2.2.1 de la Recomendación UIT-R SM.1448, como método suplementario para dichos escenarios (véase también la Recomendación UIT-R SF.1485). La aplicación del método TVG exige determinar la distribución acumulativa de la ganancia hacia el horizonte en la dirección de la estación fija que se supera durante porcentajes de tiempo,  $p_n$ . Para cada porcentaje  $p_n$ , la ganancia hacia el horizonte asociada y la potencia interferente

admisibles,  $P_t(p)$ , se utilizan en la ecuación (1) para determinar la atenuación mínima requerida que debe superarse durante todo el tiempo, salvo durante  $p_v\%$ , con la limitación siguiente:

$$p_v = \begin{cases} 100 p/p_n & \text{para } p_n \geq 2 p \\ 50 & \text{para } p_n < 2 p \end{cases} \quad \% \quad (6)$$

En la determinación de la zona de coordinación, la atenuación de trayecto predicha para el  $p_v\%$  del tiempo debe superar dicho valor de atenuación para cada  $p_n$  a la distancia de coordinación.

El caso de una ESV es más complejo puesto que el trayecto interferente desde la ESV hasta la estación fija también cambia conforme se desplaza el barco. Por lo tanto, no existe una asociación exclusiva con los porcentajes  $p_n$  y los valores de la ganancia,  $G_n$ . Para determinar la interferencia potencial, es necesario considerar como PCC una serie de puntos a lo largo del contorno de maniobras de la ESV, y asociar a cada uno de ellos una ganancia hacia el horizonte de la antena transmisora y un porcentaje de tiempo.

### 3.2 Consideración de la interferencia a largo plazo

La interferencia a largo plazo procedente de las ESV sólo es necesaria para calcular la interferencia potencial. Este escenario no es distinto de los escenarios de interferencia espacio-Tierra desde satélites no OSG sobre receptores del servicio fijo, para los cuales se ha desarrollado el concepto de DFC. En la Recomendación UIT-R F.1108 se define la DFC como:

$$DFC = \frac{\sum_i f_i I_i}{N_T} = \frac{\text{Potencia interferente media}}{N_T} \quad (7)$$

donde:

$N_T$ : potencia de ruido a la entrada del receptor (dB(W/B))

$B$ : anchura de banda de referencia

$I_i$ : nivel  $i$ -ésimo de potencia interferente a la entrada del receptor (dB(W/B))

$f_i$ : fracción del tiempo durante el que está presente el nivel de interferencia  $i$ -ésimo.

En el caso de interferencia procedente de satélites no OSG, se supone normalmente que las emisiones del satélite se propagan en condiciones de espacio libre, aunque en algunos casos se incluyen las pérdidas atmosféricas. Por tanto, la DFC se determina mediante la ecuación (7) utilizando una simulación para obtener los valores de potencia interferente y la fracción de tiempo para la que dichos valores tienen lugar. Para considerar la interferencia entre estaciones terrenales fijas y estaciones terrenales fijas, el procedimiento normal consiste en utilizar un modelo de propagación como el de la Recomendación UIT-R P.452 para determinar la atenuación de propagación. Puede desarrollarse un enfoque común utilizando la Recomendación UIT-R P.452 para determinar la atenuación de propagación que se excede durante todo el tiempo, salvo el 20%, hasta un PCC. Ajustando esta atenuación de acuerdo con la variación con el cuadrado de la distancia de la atenuación en el espacio libre, se puede determinar, de forma cerrada por integración directa, la contribución a la DFC del funcionamiento de una ESV a lo largo de las secciones del trayecto. Para adaptarse más exactamente a la metodología utilizada para determinar la interferencia potencial en el caso de estaciones terrenales, ésta se determinará en base a la potencia interferente

media - el numerador de la ecuación (7). Esta potencia media puede compararse directamente con el valor admisible de la interferencia a largo plazo. Este enfoque se describe con más detalle en el § 4.

#### 4 Consideración detallada de la interferencia a largo plazo

Para tener en cuenta la interferencia a largo plazo procedente de las ESV que operan en un contorno de maniobras situado más próximo a la costa que la distancia mar adentro antes mencionada, es necesario en primer lugar descomponer el contorno de maniobras en un conjunto de segmentos rectos. Los extremos de estos segmentos rectos permiten determinar todos los PCC definidos mediante el método del Anexo 1 y que son necesarios para calcular la potencia interferente media. Cuando el eje del lóbulo principal de la antena del servicio fijo cruza uno de dichos segmentos, el punto de intersección es también un PCC para dicha estación del servicio fijo. La potencia interferente media es la suma de las contribuciones desde cada segmento del contorno de maniobras. De acuerdo con la Recomendación UIT-R SF.1650 y la notación asociada, se supone que  $f_{ESV}$  buques transitan anualmente por el contorno de maniobras, cada uno a una velocidad constante de  $v_{ESV}$  km/h.

Cuando un segmento incluye un cruce con el eje del lóbulo principal de la antena del servicio fijo, es probable que la contribución debida al tránsito de las ESV a través del lóbulo principal domine la contribución de dicho segmento a la potencia interferente media. En las dos cláusulas siguientes se consideran las contribuciones debidas al tránsito por el lóbulo principal y al tránsito a través de un segmento que no incluya un cruce con el eje del lóbulo principal, respectivamente. En una tercera cláusula adicional, se incluye el procedimiento general que tiene en cuenta todas las contribuciones a la potencia interferente media.

##### 4.1 Contribución a la potencia interferente media del tránsito a través del lóbulo principal de una antena

Se pueden utilizar las Recomendaciones UIT-R F.699 o UIT-R F.1245 para proporcionar la forma funcional de la ganancia de antena del servicio fijo (dBi) para un ángulo de  $\varphi_d$  (grados) desde el eje de puntería :

$$G_r(\varphi_d) = G_{m\acute{a}x} - 2,5 \times 10^{-3} \left( \frac{D}{\lambda} \right)^2 \varphi_d^2 \quad \text{para } \varphi_d < \varphi_{dm}$$

donde:

$$\frac{D}{\lambda} = 10^{(G_{m\acute{a}x}-7,7)/20} \text{ (relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda)}$$

$$\varphi_{dm} = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{m\acute{a}x} - G_1} \text{ (ángulo de desviación respecto al eje de puntería del primer lóbulo lateral (grados))}$$

$$G_1 = 2 + 15 \log (D/\lambda) \text{ (ganancia de la antena en el primer lóbulo lateral (dBi)).}$$

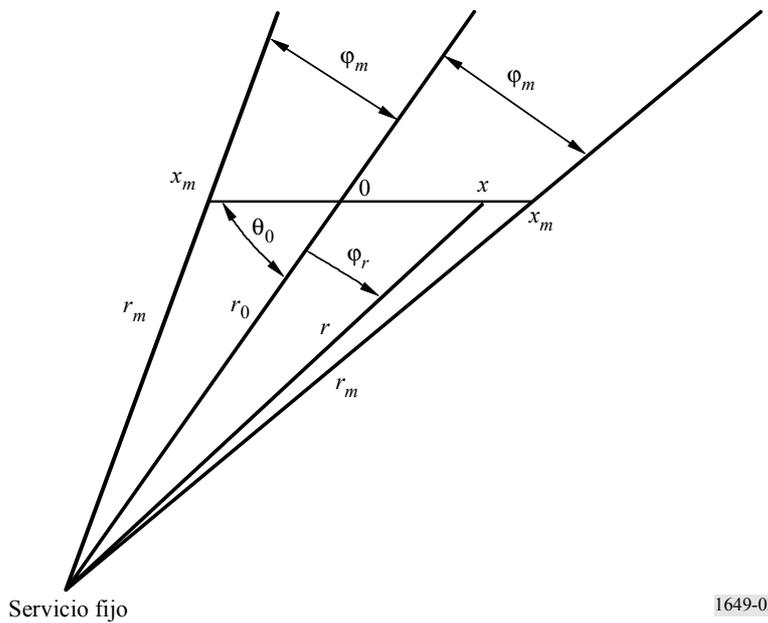
La relación de ganancia en el lóbulo principal a un ángulo de  $\varphi_d$  (grados) del eje de puntería viene dado por<sup>2</sup>:

$$g_r(\varphi_r) = g_{m\acute{a}x} e^{-\alpha^2 \varphi_r^2} \quad \text{para } \varphi_r < \varphi_{dm} \quad (8)$$

donde:

$$\alpha^2 = \frac{\ln(10)}{10} (2,5 \times 10^{-3}) \left( \frac{D}{\lambda} \right)^2$$

FIGURA 3  
Geometría del tránsito de una ESV a través del lóbulo principal



En la Fig. 3 se representa la geometría del paso por un lóbulo principal. La ruta de maniobras de la ESV discurre a través del eje  $x$ , que cruza al eje del lóbulo principal en  $x = 0$  con un ángulo  $\theta_0$ . El lóbulo principal de la antena tiene una anchura de haz a  $-10$  dB ( $2\varphi_m$ ) menor de  $2^\circ$  para una antena con una ganancia máxima de 45 dBi, que es representativa de los sistemas en la banda de 6 GHz. El lóbulo principal cruza la ruta que sigue la ESV a lo largo del rango de  $x$  comprendido entre  $x_{-m}$  y  $x_m$ . La potencia recibida (vatios en la anchura de banda de referencia) cuando una ESV se desplaza  $x$  km desde el punto en el que el lóbulo principal cruza el camino de la ESV y se encuentra a una distancia de  $r$  km del receptor del servicio fijo, puede expresarse como:

$$P_{r,x} = \frac{P_t g_{t0} g_{r\acute{m}ax}}{\ell_{452}(20) \ell_F} \frac{r_0^2}{r^2} e^{-\alpha^2 \varphi_r^2} \quad (9)$$

<sup>2</sup> En estos cálculos, las cantidades expresadas en dB, dBi o dBW se identifican mediante caracteres en letras mayúsculas y cursiva. Cuando las mismas cantidades se expresan como relaciones de potencia o en unidades de potencia, se identifican mediante el mismo carácter en minúsculas y con el mismo subíndice. Por ejemplo,  $g_{m\acute{a}x} = 10^{G_{m\acute{a}x}/10} = e^{G_{m\acute{a}x} \ln(10)/10}$ .

donde:

- $p_t$ : potencia de transmisión (W) en la anchura de banda de referencia
- $g_{t0}$ : ganancia de la antena transmisora (como relación) hacia el receptor del servicio fijo cuando la ESV se encuentra en la intersección del haz
- $g_{r\text{ máx}}$ : ganancia máxima (como relación) de la antena receptora
- $\ell_F$ : relación de la pérdida del alimentador del sistema receptor del servicio fijo
- $\ell_{452}(20)$ : relación de atenuación de propagación hasta la intersección del haz, calculada conforme a la Recomendación UIT-R P.452, que se supera durante todo el tiempo salvo el 20%
- $\varphi_r$ : ángulo con el eje del lóbulo principal (grados)
- $\varphi_m$ : ángulo del eje del lóbulo principal (grados) para el que la ganancia de la antena receptora es 10 dB inferior al máximo.

Obsérvese que la ganancia de la antena transmisora se supone constante sobre una región angular estrecha (inferior a  $2^\circ$ ), y que la atenuación de propagación se ha calculado para la distancia  $r$ .

Puesto que la anchura mitad del lóbulo principal es inferior a  $1^\circ$ , resulta que aproximadamente:

$$r = r_0 + x \cos \theta_0$$

$$\varphi_r = (180/\pi)x \operatorname{sen} \theta_0 / (r_0 + x \cos \theta_0)$$

El valor medio de la potencia interferente para un transmisor uniformemente distribuido a lo largo de la ruta desde  $x_{-m}$  a  $x_m$  es:

$$\overline{p_{r,0}} = \frac{1}{x_m - x_{-m}} \int_{x_{-m}}^{x_m} p_{r,x} \, dx$$

donde  $p_{r,x}$  viene dado por la ecuación (9). Haciendo un cambio de la variable de integración para que ésta sea  $\varphi_r$ , resulta:

$$\overline{p_{r,0}} = \frac{p_t g_{t0} g_{r\text{ máx}}}{\ell_{452}(20) \ell_F} \frac{2\varphi_m r_0 (\pi/180)}{(x_m - x_{-m}) \operatorname{sen} \theta_0} \left[ \frac{1}{2\varphi_m} \int_{-\varphi_m}^{\varphi_m} e^{-\alpha^2 \varphi_r^2} d\varphi_r \right] \quad (10)$$

El término entre corchetes es la ganancia media calculada respecto a  $g_{r\text{ máx}}$  (como relación) del lóbulo principal medido entre los ángulos en los que la ganancia es 10 dB inferior a la ganancia máxima. Para el diagrama de referencia de la antena de la Recomendación UIT-R F.699 o UIT-R F.1245, esta cantidad vale 0,565.

El valor medio que se obtiene de la ecuación (10) puede convertirse en la potencia agregada media a lo largo de un año multiplicando por la fracción del año en la que dicha potencia interferente media está presente. El tiempo en horas que tarda un buque en atravesar el lóbulo principal es

$(x_m - x_{-m})/v_{ESV}$ . Si el número de buques que atraviesan anualmente el lóbulo principal es  $f_{ESV}$ , la interferencia media agregada a lo largo del año es<sup>3</sup>:

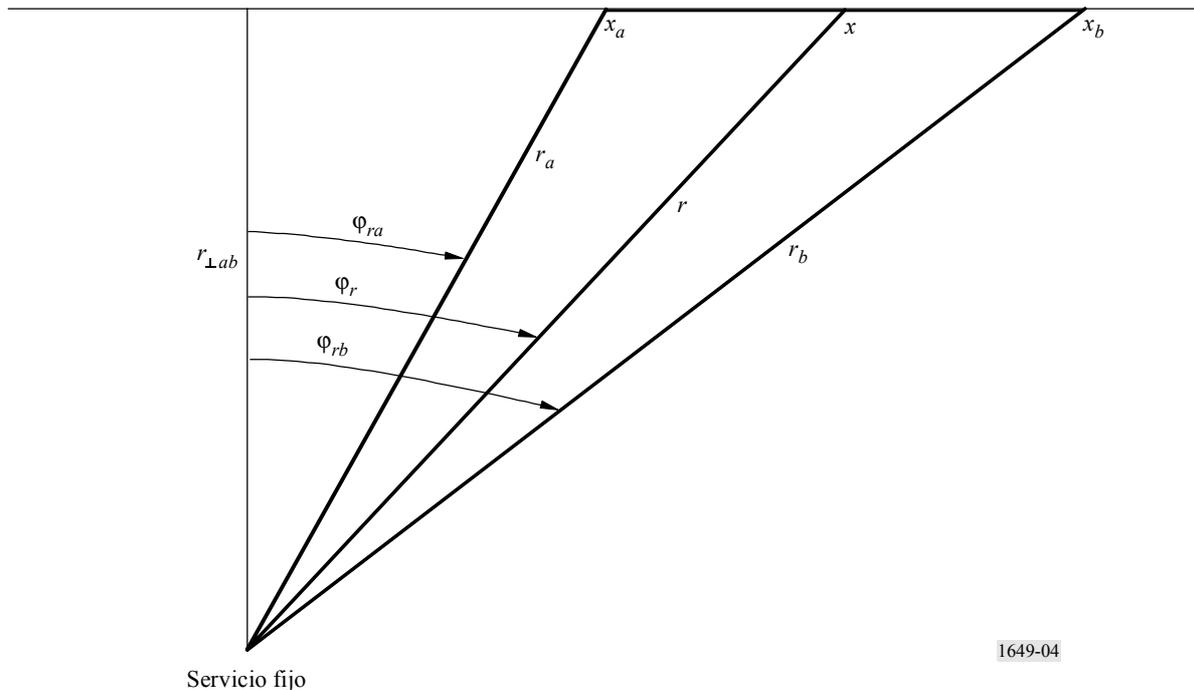
$$\tilde{I}_{0,av} = \frac{P_t g_{t0} g_r máx}{\ell_{452}(20) \ell_F} \frac{2\pi\phi_m r_0}{180 v_{ESV} \text{sen } \theta_0} \frac{f_{ESV}}{8\,760} (0,565) \tag{11}$$

donde 8 760 es el número de horas de un año.

Obsérvese que la potencia interferente a largo plazo media es significativamente inferior a la que se asignaría a una estación terrena de las mismas características que estuviese permanentemente situada en el punto en el que el eje de lóbulo principal de la antena del servicio fijo cruza la ruta de maniobra de la ESV. Por ejemplo, para un ángulo de cruce de 90°, que es el que causa la interferencia mínima y con 1 000 pasadas de un buque a una velocidad de 5 nudos (9,261 km/h) a una distancia de 20 km, la potencia de interferencia media que resulta de la ecuación (11) sería 23,8 dB inferior. Para la misma situación, salvo que el ángulo de cruce sea de 20°, la media sería solamente 19,1 dB inferior. Lógicamente habría que tener también en cuenta el efecto de otras ESV que estuviesen en funcionamiento en otras secciones de la ruta de maniobra, pues se reduciría dicha diferencia (dB). Incluso si dichas contribuciones pudieran despreciarse, no está claro si el criterio determinante sería el de largo plazo o el de corto plazo, dado que el criterio a corto plazo se aplicaría a la potencia interferente en la intersección del eje del lóbulo principal con el contorno de maniobra. Por este motivo, a las ESV en movimiento se deben aplicar ambos criterios, a largo plazo y a corto plazo.

#### 4.2 Contribución a la potencia de interferencia media de un segmento que no cruza al lóbulo principal

FIGURA 4  
Geometría del tránsito de una ESV a través de un segmento de un contorno de maniobra fuera del lóbulo principal de la antena del servicio fijo



1649-04

<sup>3</sup> La tilde (~) sobre el símbolo de la potencia de interferencia media se utiliza como recordatorio de que esta cantidad es una potencia cuyas unidades son vatios en la anchura de banda de referencia.

En la Fig. 4 se muestran la geometría y las coordenadas de este caso. El buque atraviesa un segmento del contorno de maniobra entre  $x_a$  y  $x_b$ . La formulación es similar a la de la ecuación (9), excepto en que la longitud del segmento puede ser mucho mayor que el tránsito a través de la anchura de un lóbulo. En consecuencia, en este caso la ganancia hacia el horizonte de la ESV se sustituye por su valor máximo sobre el acimut hacia el receptor del servicio fijo cuando pasa por el segmento. Si bien se podría incluir en una integración el diagrama de ganancia real de la antena del servicio fijo, un enfoque más sencillo consiste en asumir que la ganancia del sistema del servicio fijo (dBi) varía de forma lineal con el ángulo del acimut entre  $\varphi_a$  y  $\varphi_b$ . Obsérvese que los ángulos del acimut utilizados en esta fórmula se miden a partir de la perpendicular trazada desde la ubicación de la estación del servicio fijo hasta la línea que contiene al segmento entre  $x_a$  y  $x_b$ . La aproximación lineal es conservadora en la medida en que los diagramas de ganancia de la antena de referencia fuera del lóbulo principal son planos o cóncavos hacia arriba; ello no degrada la exactitud de los resultados puesto que la diferencia de la ganancia en un extremo del segmento y en otro no es normalmente grande. En consecuencia, la potencia recibida (medida en vatios en la anchura de banda de referencia) cuando la ESV se encuentra en dicho segmento a una distancia  $x$  del punto de intersección con la perpendicular trazada desde la estación del servicio fijo hasta la línea que contiene el segmento, viene dada por:

$$p_{r,x} = \frac{p_t g_{t,ab}}{\ell_{452,a}(20) \ell_F} \frac{r_a^2 g_{r\varphi_r}}{r_{\perp ab}^2 + x^2} \quad (12)$$

donde:

- $p_t$ : potencia de transmisión (W) en la anchura de banda de referencia
- $g_{t,ab}$ : relación de la ganancia máxima de la antena transmisora hacia el receptor del servicio fijo cuando la ESV se encuentra entre  $x_a$  y  $x_b$
- $\ell_F$ : relación de la pérdida del alimentador del sistema receptor del servicio fijo
- $\ell_{452,a}(20)$ : relación de la atenuación de propagación hasta el punto  $x_a$ , calculado según la Recomendación UIT-R P.452, que se superará durante todo el tiempo salvo durante el 20% del mismo
- $g_{r\varphi_r}$ : ganancia (como relación) de la antena receptora sobre el acimut  $\varphi_r$  hacia el punto  $x$
- $r_{\perp ab}$ : distancia desde la estación del servicio fijo a la línea que contiene el segmento entre  $x_a$  y  $x_b$ .

Bajo la hipótesis de que la ganancia de la antena receptora, (dB), varía de forma lineal desde  $G_a$  a  $\varphi_{ra}$ , hasta  $G_b$  a  $\varphi_{rb}$ , la relación de ganancia  $g_{r\varphi_r}$  puede expresarse como:

$$g_{r\varphi_r} = g_{ra} e^{\frac{\ln(10)}{10} \left( \frac{G_{rb} - G_{ra}}{\varphi_{rb} - \varphi_{ra}} \right) (\varphi_r - \varphi_{ra})} \quad (13)$$

El valor medio de la potencia interferente  $\overline{p_{r,ab}}$  sobre el segmento puede desarrollarse tal como en la ecuación (10), integrando la ecuación (12) sobre el intervalo de  $x_a$  a  $x_b$  y dividiendo por la

longitud del intervalo. Cambiando la variable de integración a  $\varphi_r$ , donde  $x = r_{\perp ab} \operatorname{tg}(\pi\varphi_r/180)$  resulta:

$$\overline{p_{r,ab}} = \frac{p_t g_{t,ab}}{\ell_{452.a}(20) \ell_F} \frac{\pi r_a^2 (\varphi_{rb} - \varphi_{ra}) \sqrt{g_{ra} g_{rb}}}{180 r_{\perp ab} (x_b - x_a)} \operatorname{sench}((G_b - G_a) \ln(10)/20) \quad (14)$$

donde los ángulos  $\varphi_{ra}$  y  $\varphi_{rb}$  se expresan en grados:

$$\operatorname{sench}(x) = \frac{\operatorname{senh}(x)}{x}$$

El tiempo en horas que tarda un buque en recorrer este segmento de la ruta de maniobras de una ESV es  $(x_b - x_a)/v_{ESV}$ . Si el número de buques que atraviesan anualmente el lóbulo principal es  $f_{ESV}$ , la potencia de interferencia media agregada procedente del segmento durante un año viene dada por:

$$\tilde{I}_{ab,av} = \frac{p_t g_{t,ab} \sqrt{g_{ra} g_{rb}}}{\ell_{452.a}(20) \ell_F} \frac{\pi r_a^2 (\varphi_{rb} - \varphi_{ra}) f_{ESV}}{180 r_{\perp ab} 8760 v_{ESV}} \operatorname{sench}((G_{rb} - G_{ra}) \ln(10)/20) \quad (15)$$

La evidencia de que esta expresión comienza con un valor aumentado de la atenuación de propagación en el punto  $x_a$ , radica en el término  $r_a^2/\ell_{452.a}(20)$  de la ecuación (15). Si la potencia de interferencia media se hubiese determinado a partir de la atenuación de propagación en el punto  $x_b$ , la potencia de interferencia media hubiese sido idéntica excepto en la sustitución del término  $r_a^2/\ell_{452.a}(20)$  por  $r_b^2/\ell_{452.b}(20)$ . Si la atenuación de propagación superada durante todo el tiempo salvo el 20% variase de forma inversa al cuadrado de la distancia, ambos términos también serían idénticos. Un enfoque sencillo que compensa la desviación de la dependencia con la inversa del cuadrado de la distancia consiste en promediar los dos cálculos, resultando:

$$\tilde{I}_{ab,av} = \frac{p_t g_{t,ab} \sqrt{g_{ra} g_{rb}}}{2 \ell_F} \frac{\pi (\varphi_{rb} - \varphi_{ra}) f_{ESV}}{180 r_{\perp ab} 8760 v_{ESV}} \left( \frac{r_a^2}{\ell_{452.a}(20)} + \frac{r_b^2}{\ell_{452.b}(20)} \right) \times \operatorname{sench}((G_{rb} - G_{ra}) \ln(10)/20) \quad (16)$$

### 4.3 Potencia de interferencia media agregada procedente de un contorno de maniobras

Los PCC se identifican descomponiendo el contorno de maniobras de la ESV en segmentos rectos y determinando la ubicación geográfica de los puntos de contacto de los extremos de los segmentos. Después de identificar el acimut hacia cada uno de dichos puntos críticos desde un receptor del servicio fijo dado, puede determinarse fácilmente si el eje del lóbulo principal de la antena del servicio fijo cruza alguno de los segmentos.

Si el lóbulo principal no cruza ningún segmento, el valor medio de la interferencia potencial puede determinarse sumando las contribuciones de cada segmento del contorno de maniobras mediante la ecuación (16).

Si el lóbulo principal cruza alguno de los segmentos, existirán una, dos o tres contribuciones a la interferencia potencial media total como consecuencia del funcionamiento a lo largo de dicho segmento cruzado. Dichas contribuciones se añaden a la suma parcial obtenida de las contribuciones de cada uno de los restantes segmentos, tal como se calcula con la ecuación (16).

Las tres posibles contribuciones procedentes de un segmento cruzado se determinan de la forma siguiente:

- Una contribución correspondiente al paso por el lóbulo principal que se determina aplicando la ecuación (11). Si el segmento reside completamente dentro del lóbulo principal de la antena del servicio fijo, ésta es la única contribución de dicho segmento.
- La contribución de la parte o partes del segmento fuera del lóbulo principal de la antena del servicio fijo, puede calcularse mediante la ecuación (16) identificando el punto o puntos PCC adicionales en los bordes del lóbulo principal.

En todo este análisis, se ha supuesto que la ganancia sobre el horizonte de la antena transmisora de la ESV no presenta una fuerte variación en función del acimut. El procedimiento puede modificarse de forma sencilla para tener en cuenta la variación con el acimut de la ganancia sobre el horizonte. Cuando ninguna de las ganancias de las antenas presenta un máximo hacia las posiciones de la ESV en alguno de los segmentos, el valor promedio de la ganancia aplicada a la ganancia del receptor en el § 4.2 puede aplicarse al producto de las relaciones de ganancia de transmisión y de recepción. En este caso, la ecuación (16) queda así:

$$\tilde{I}_{ab,av} = \frac{P_t \sqrt{g_{ta} g_{ra} g_{tb} g_{rb}}}{2 \ell_F} \frac{\pi(\varphi_{rb} - \varphi_{ra}) f_{ESV}}{180 r_{\perp ab} 8760 v_{ESV}} \left( \frac{r_a^2}{\ell_{452.a}(20)} + \frac{r_b^2}{\ell_{452.b}(20)} \right) \times \text{sench}((G_{tb} + G_{rb} - G_{ta} - G_{ra}) \ln(10) / 20) \quad (17)$$

donde

- $g_{ta}$ : relación de la ganancia de la antena transmisora hacia el receptor del servicio fijo cuando la ESV está en el PCC situado en  $x_a$
- $g_{tb}$ : relación de la ganancia de la antena transmisora hacia el receptor del servicio fijo cuando la ESV está en el PCC situado en  $x_b$ .

Alternativamente, si la ganancia de la antena transmisora tiene un máximo en la dirección del receptor del servicio fijo cuando la ESV transita a través de un segmento, y no ocurre lo mismo con la ganancia en recepción, puede obtenerse un resultado más exacto definiendo que el punto situado sobre el segmento donde un receptor dado del servicio fijo experimenta el máximo, es un PCC adicional utilizado para determinar la interferencia potencial sobre el receptor.

## 5 Consideración detallada de la interferencia a corto plazo

Las consideraciones relativas a la interferencia potencial a corto plazo procedente de una ESV difieren en dos aspectos significativos de las relativas a la interferencia a corto plazo utilizadas para determinar la distancia mar a dentro más allá de la cual no es necesario considerar la interferencia procedente de las ESV. Para determinar dicha distancia mar adentro, los supuestos se limitaban a los casos en que una ESV cruza el eje del lóbulo principal de la antena receptora del servicio fijo. Además, también se limitaban al caso en que la ruta de cruce era perpendicular al eje del lóbulo principal. Las consideraciones para el corto plazo de esta sección tienen en cuenta todas las posibilidades y, por lo tanto, son paralelas a lo expuesto en la sección precedente.

Para tener en cuenta la interferencia potencial a corto plazo producida sobre un receptor del servicio fijo procedente de una ESV situada en su contorno de maniobras, es necesario determinar la potencia interferente potencial a corto plazo desde cada uno de los puntos críticos de dicho contorno a fin de determinar cuál es el punto que controla la interferencia a corto plazo. En el análisis siguiente, se supone que existe un único punto crítico determinante de la potencia interferente potencial que se supera durante un porcentaje de tiempo y que puede compararse con el criterio de

interferencia a corto plazo. Debido a las interrelaciones entre los parámetros, no puede hacerse normalmente una identificación directa de dicho punto de control y de la potencia asociada. Aunque es posible utilizar diversos enfoques, el que se presenta en esta sección parece ser el más directo.

Por conveniencia en el análisis que sigue, el PCC definido por el cruce del lóbulo principal, cuando dicho cruce existe, se identifica mediante el número 0. El resto de PCC, que identifican los puntos en que el contorno de maniobra cambia de dirección, se numeran en secuencia a lo largo del contorno desde 1 a  $N_{pcc}$ , donde  $N_{pcc}$  es el número de dichos PCC sobre la ruta de maniobra de la ESV. De acuerdo con lo expuesto en el § 3.1 y de conformidad con el § 4, la potencia en el receptor del servicio fijo (dBW) que se supera durante el  $p_{ST}$  por ciento del tiempo cuando la ESV funciona cerca del PCC  $i$ -ésimo, viene dado por:

$$I_{ST,i}(p_{ST}) = P_t + G_{t,i} + G_{r,i} - L_F - L_{452,i}(p_{Li}) \quad (18)$$

donde:

- $p_{ST}$ : porcentaje del tiempo durante el cual puede superarse el nivel de potencia admisible de interferencia a corto plazo (véase la ecuación (3))
- $P_t$ : potencia de transmisión (dBW) en la anchura de banda de referencia
- $G_{t,i}$ : ganancia de la antena transmisora hacia el receptor del servicio fijo cuando la ESV se encuentra en el  $i$ -ésimo PCC, para  $i = 1$  a  $N_{pcc}$  (dBi)
- $G_{r,i}$ : ganancia de la antena receptora hacia la ESV cuando ésta se encuentra en el  $i$ -ésimo PCC, para  $i = 1$  a  $N_{pcc}$  (dBi)
- $L_F$ : pérdida del alimentador del sistema de recepción del servicio fijo (dB)
- $L_{452,i}(p_{Li})$ : atenuación de propagación hasta el  $i$ -ésimo PCC, calculado según la Recomendación UIT-R P.452, que se superará durante todo el tiempo, salvo durante el porcentaje de tiempo,  $p_{Li}$ , para  $i = 1$  a  $N_{pcc}$  (dB).

El porcentaje de tiempo,  $p_{Li}$ , viene dado por:

$$p_{Li} = 100 p_{ST} / p_{ESVi} \quad (19)$$

donde:

- $p_{ESVi}$ : porcentaje de tiempo asociado con el funcionamiento de la ESV cerca del  $i$ -ésimo PCC.

En caso de tránsito del lóbulo principal, es posible hacer una evaluación directa de los valores necesarios. El porcentaje de tiempo asociado con el funcionamiento de la ESV cerca del área de cruce del lóbulo principal es el tiempo utilizado en cruzar la parte del lóbulo principal de la antena del servicio fijo con un determinado nivel de ganancia en relación con la ganancia máxima. En la presente Recomendación y en el § 4, se utiliza el valor de anchura del haz a 10 dB. Consecuentemente, debería utilizarse la misma anchura para determinar la interferencia potencial a corto plazo. Utilizando la anchura del haz a 10 dB como base para calcular los porcentajes  $p_{ESV0}$ :

$$p_{ESV0} = 4 \times 10^{-4} \frac{f_{ESV} \Phi_m r_0}{v_{ESV} \sin \theta_0} \quad (20)$$

donde los símbolos se definen como en la ecuación (11).

Mediante las ecuaciones (18)-(20), puede determinarse  $I_{ST,0}$ , valor de la potencia en el receptor del servicio fijo que se supera durante el  $p_{ST}\%$  del tiempo debido al funcionamiento de la ESV dentro del lóbulo principal de la antena del servicio fijo. Aunque puede haber zonas cercanas a otro punto

crítico de la ruta de maniobra de la ESV, lo que permitiría calcular una potencia a corto plazo que sería casi tan elevada durante el mismo porcentaje de tiempo, sólo se considerará un único caso peor de potencia máxima. La alternativa sería repartir el porcentaje de tiempo admisible entre dichos PCC,  $p_{ST}$ .

Para determinar la potencia interferente potencial desde un PCC que no sea la intersección del lóbulo principal con un segmento del contorno de maniobras, debe determinarse el porcentaje de tiempo asociado durante el cual la ESV funciona cerca de dicho PCC. El enfoque más directo y conservador es asociar a un PCC determinado la mitad de cada uno de los dos segmentos de maniobra adyacentes. Por lo tanto, denominando  $x_{i,i+1}$  a la longitud del segmento entre el PCC numerado  $i$  y un PCC adyacente numerado  $(i+1)$ , el porcentaje de tiempo asociado con dicho PCC es:

$$p_{ESVi} = \text{el menor de } \frac{f_{ESV}}{87,6v_{ESV}} \frac{(x_{i,i-1} + x_{i,i+1})}{2} \text{ y el } 100\% \quad (21)$$

Los valores de cada una de las potencias de interferencia potencial a corto plazo críticas puede determinarse ( $i \neq 0$ ) utilizando las ecuaciones (21) y (19) junto con (18). La mayor de dichas potencias a corto plazo es la potencia determinante que debe ser utilizada en la comparación con la potencia interferente a corto plazo.

## 6 Resumen

En este Anexo se describen un conjunto de procedimientos que pueden utilizarse para determinar la interferencia potencial de las emisiones de una ESV que funcione sobre un contorno determinado cercano a la costa.

Aunque este procedimiento se centra en la banda de 6 GHz, el mismo enfoque puede utilizarse en la banda de 14 GHz, que también es objeto de la Resolución 82 (CMR-2000). La calidad de funcionamiento de los enlaces del servicio fijo en la banda de 14 GHz se ve afectada por el desvanecimiento por trayectos múltiples y por el desvanecimiento debido a las precipitaciones, dependiendo la importancia relativa de ambos mecanismos de la zona radiometeorológica. Si otras consideraciones permanecen constantes, las condiciones de compartición son más restrictivas cuando el desvanecimiento por trayectos múltiples es el factor determinante de la calidad de funcionamiento de un enlace del servicio fijo. Por tanto, este procedimiento debería ser también adecuado para la banda de 14 GHz.

El cuadro de parámetros que deben utilizarse como guía para aplicar este método es el que figura en la Recomendación UIT-R SF.1650. Los parámetros de las ESV deben representar los parámetros de los sistemas reales, que deben ser conformes a la Recomendación UIT-R S.1428. Los parámetros de los enlaces del servicio fijo también deben representar los parámetros de los sistemas reales. En relación con los criterios de interferencia, puede hacerse referencia a las Recomendaciones UIT-R SF.1006 y UIT-R SF.1650.

## Anexo 3

### Método alternativo para calcular la interferencia procedente de ESV

#### 1 Introducción

En este Anexo se describe un conjunto de procedimientos que permiten modificar el método descrito en el Anexo 2 de forma que éste pueda implementarse utilizando técnicas de simulación.

Estos procedimientos pueden requerir un tiempo de cálculo adicional, pero pueden producir resultados más exactos.

## 2 Procedimiento de simulación

Inicialmente, el contorno de maniobras se subdivide en un número elevado de  $R$  segmentos rectos pequeños  $\Delta\vec{r}_i$  centrados en  $\vec{r}_i$  ( $I = 1, 2, \dots, R$ ), de tal forma que la longitud de los segmentos permanezca constante.

A partir de la versión discreta del teorema de probabilidad total, resulta la siguiente ecuación:

$$\Pr\{p_{int} > I\} = \sum_{i=0}^R \Pr\{p_{int} > I | (\vec{r}_i - \Delta\vec{r}_i/2, \vec{r}_i + \Delta\vec{r}_i/2)\} \Pr\{(\vec{r}_i - \Delta\vec{r}_i/2, \vec{r}_i + \Delta\vec{r}_i/2)\} \quad (22)$$

En la ecuación (22),  $\Pr\{p_{int} > I\}$  es la probabilidad de que se supere el nivel de potencia interferente  $I$  (dBW);  $\Pr\{p_{int} > I | (\vec{r}_i - \Delta\vec{r}_i/2, \vec{r}_i + \Delta\vec{r}_i/2)\}$  es la misma probabilidad, condicionada a la posición de la ESV dentro del intervalo  $(\vec{r}_i - \Delta\vec{r}_i/2, \vec{r}_i + \Delta\vec{r}_i/2)$ ; y  $\Pr\{(\vec{r}_i - \Delta\vec{r}_i/2, \vec{r}_i + \Delta\vec{r}_i/2)\}$  es la probabilidad del intervalo en el contorno de maniobras. Suponiendo que la velocidad de la ESV,  $v_{ESV}$ , permanece constante a lo largo del contorno de maniobras, que el número de buques que pasan anualmente a través del contorno de maniobra es  $f_{ESV}$ , y puesto que todos los intervalos tienen la misma probabilidad, resulta la siguiente ecuación:

$$\Pr\{(\vec{r}_i - \Delta\vec{r}_i/2, \vec{r}_i + \Delta\vec{r}_i/2)\} = \frac{f_{ESV} \cdot \Delta t}{365 \cdot 24 \cdot 3600} = \frac{f_{ESV} \cdot \Delta t}{31\,536\,000} \quad (23)$$

donde  $\Delta t = |\Delta\vec{r}_i|/v_{ESV}$ . Combinando las ecuaciones (22) y (23), y recordando que los segmentos son pequeños, se obtiene la ecuación básica del procedimiento de simulación siguiente:

$$\Pr\{p_{int} > I\} \approx \frac{f_{ESV} \cdot \Delta t}{31\,536\,000} \sum_{i=0}^R \Pr\{p_{int} > I | \vec{r} = \vec{r}_i\} \quad (24)$$

La ecuación (24) indica que  $\Pr\{p_{int} > I | \vec{r} = \vec{r}_i\} = p/100$  debe evaluarse en cada punto  $\vec{r}_i$  del contorno de maniobras, que los valores parciales se deben acumular y que los resultados se deben ajustar para obtener la probabilidad de que se supere el nivel de potencia interferente  $I$  (dBW). Este procedimiento se repite para todos los niveles  $I$  (dBW) de interés. Utilizando una notación directa, puede escribirse

$$I = P_{iESV} + G_{ESV}(\theta_{ESV}) + G_{FS}(\theta_{FS}) - L_{FS} - L_{P.452,i}(p) \quad (25)$$

En la ecuación (25), que es análoga a la ecuación (18) del Anexo 2,  $L_{452,i}(p)$  es la atenuación de propagación en el trayecto interferente, caracterizado porque la ESV se encuentra situada en  $\vec{r}_i$  y por el receptor del servicio fijo, tal como se calcula según la Recomendación UIT-R P.452. En esta simulación, se invierte la ecuación (25) (ya sea analíticamente o numéricamente, en función del tipo de trayecto) a fin de obtener el valor de  $p$  (%) relacionado con el valor específico de  $I$  (dBW) y con la ubicación específica  $\vec{r}_i$  de la ESV utilizada en el término situado a la derecha en la ecuación (25).