

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1591

Compartición de las bandas del servicio entre satélites alrededor de 23, 32,5 y 64,5 GHz, de los enlaces entre satélites no geoestacionarios/geoestacionarios y los enlaces entre satélites geoestacionarios/geoestacionarios

(Cuestión UIT-R 265/4)

(2002)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que para los enlaces entre satélites (EES) en los sistemas de satélites geoestacionarios (OSG) se utiliza o se ha previsto utilizar las atribuciones de frecuencias al servicio entre satélites (SES) de 22,55-23,55 GHz, 24,45-24,75 GHz, 32,0-33,0 GHz y 59,3-71,0 GHz;
- b) que para los EES entre satélites OSG y no OSG se utiliza o se ha previsto utilizar las atribuciones de frecuencias del SES de 22,55-23,55 GHz, 24,45-24,75 GHz, 32,0-33,0 GHz y 59,3-71,0 GHz;
- c) que actualmente el UIT-R no dispone de criterios ni de métodos de cálculo para evaluar la posibilidad de compartir frecuencias entre los EES del tipo mencionado en el *considerando* b) y los EES del tipo mencionado en el *considerando* a);
- d) que los criterios y los métodos de cálculo mencionados en el *considerando* c) tal vez permitan a la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) tramitar las solicitudes presentadas de conformidad con el Apéndice 4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), de espectro para EES del tipo mencionado en el *considerando* b);
- e) que las simulaciones descritas en el Anexo 1 demuestran que sólo se observa interferencia significativa en un reducido número de casos entre EES del tipo mencionado en los *considerando* a) y b) que comparten la misma frecuencia, y en estos casos sólo durante muy poco tiempo;
- f) que en el Anexo 1 también se demuestra que los niveles máximos de interferencia se observan cuando el EES no OSG/OSG coincide momentáneamente con el plano ecuatorial, y que, por tanto, es posible calcular manualmente estos niveles;
- g) que los *considerando* e) y f) apuntan a la conveniencia de la compartición de frecuencias entre los dos tipos de EES facilitada por coordinación, y que en muchos casos no sería necesaria la coordinación;
- h) que se puede verificar si la coordinación es necesaria calculando las relaciones mínimas portadora/interferencia, C/I , y comparándolas con un simple umbral de relación C/I ,

recomienda

- 1 la conveniencia de la compartición de frecuencias entre un EES no OSG/OSG y un EES OSG/OSG, aun cuando puede existir la coordinación en casos excepcionales;
- 2 que se aplique el método descrito en el Anexo 2 para determinar si es necesaria la coordinación;

- 3 que se efectúe la coordinación cuando la relación mínima C/I en una anchura de banda de 1 MHz en cualquiera de los cuatro receptores del EES, calculada por el método del Anexo 2, sea inferior al valor C/N identificado para ese receptor en el punto C.8 e) del Apéndice 4 del RR, + 3 dB o, inferior a 30 dB si no hubiera una relación C/N ;
- 4 que en los casos donde fuera necesaria la coordinación, de conformidad con los *recomienda 2* y 3, se utilice el Anexo 1 como orientación para el trabajo de las partes coordinadoras.

ANEXO 1

Análisis de interferencia entre un EES no OSG/OSG y un EES OSG/OSG

1 Viabilidad de la compartición de frecuencias entre los EES

En general, los sistemas con EES en las bandas de microondas utilizan o se espera que utilicen antenas de 0,5 a 2 m de diámetro. La atribución más baja de frecuencias para el SES es 22,55 a 23,55 GHz, y en esta gama de frecuencias la ganancia de una antena de 0,5 m es de 39 dBi y su abertura de haz a potencia mitad es de unos 2°. Para una antena más grande o para frecuencias superiores, el valor de la abertura del haz puede ser de una fracción de grado.

Como las antenas de los EES pueden apuntar en una gama angular amplia, se reducen las probabilidades de cuasiconjunción con otros EES interferentes. Pocos sistemas han utilizado las atribuciones al SES en 2001. Es previsible que el número de estos sistemas aumente, aunque es probable que la introducción de comunicaciones ópticas en el espacio lo limite y, sea como sea, cabe prever que no será tan alto como el número de sistemas con enlaces del servicio fijo por satélite (SFS), que están compartiendo frecuencias sin problemas gracias a la coordinación.

La interferencia sufrida o provocada por un EES que utiliza un satélite no OSG depende de una geometría que es variable con el tiempo. Por tanto, sólo se darán casos de interferencia significativa durante periodos breves en las situaciones de geometría más desfavorable o muy próximas a ella. Durante el resto del tiempo, la discriminación de antena será importante en uno de los extremos del trayecto de interferencia, o en ambos, lo que reducirá la potencia de interferencia.

2 Selección de los parámetros del EES para calcular estadísticas de interferencia

A partir de un banco de datos de la BR, constituido mediante notificaciones para asignaciones de espectro, se han obtenido los parámetros de transmisión de los EES de los dos tipos en las tres bandas de frecuencias correspondientes a varios satélites OSG MEASAT y de órbita terrestre baja (LEO) MEASAT (Malasia). También se utilizó este banco de datos para obtener parámetros de enlaces EES en 32 GHz correspondientes a los satélites de la serie LUXSAT (Luxemburgo), y de enlaces EES en 67 GHz correspondientes a los satélites de la serie SMO-GEO (Francia). Además, se utilizó la información pertinente de las Recomendaciones UIT-R S.1151 (32,5 GHz), UIT-R S.1326 (banda de 51 GHz del SFS) y UIT-R S.1327 (62,2 GHz) sobre los EES OSG/OSG.

En la fecha de redacción de esta Recomendación, Estados Unidos de América tiene varios sistemas espaciales con EES en la atribución del SES entre 56 GHz y 65 GHz: USBL, USFD, USGAE, USGX, USLL y MILSTAR. Algunos de estos sistemas están en la fase de planificación o de diseño, otros se están desarrollando y otros están en explotación. Estos sistemas utilizan las órbitas LEO, la órbita terrestre alta (HEO) y OSG. Las combinaciones orbitales de sus EES son, entre otras, OSG a OSG, LEO a OSG y de OSG a LEO, y HEO a OSG y de OSG a HEO.

Por último, para las características orbitales y otros datos pertinentes de los sistemas de satélites no OSG del SFS con tratamiento a bordo, que podrían utilizar EES en las bandas consideradas se ha examinado la información de la Recomendación UIT-R S.1328.

Para que el estudio no se saliera de un marco práctico, se decidió analizar toda la información disponible y recopilar después series de parámetros para un EES LEO/OSG, un EES de órbita terrestre media (MEO)/OSG y un EES OSG/OSG que, si bien son teóricos, tienen las características habituales de los enlaces de los sistemas notificados. Se consideraron cuatro ejemplos del EES OSG/OSG y en el Cuadro 1 figuran los parámetros obtenidos.

Se creó un modelo de la estrategia de traspaso al satélite más cercano para el extremo no OSG de un enlace no OSG/OSG. El diagrama de antena objeto del modelo en cada caso corresponde a las definiciones de la Recomendación UIT-R S.672 (un solo alimentador, primer lóbulo lateral a -25 dB). Se consideró cada EES separadamente, es decir, sin tener en cuenta las ganancias de transmisión que acoplan un EES con el enlace anterior o el enlace posterior. No se creó ningún modelo para el caso de varios satélites de un sistema interferente que estuvieran transmitiendo simultáneamente hacia el mismo satélite; se espera que los valores mínimos de la relación C/I en este caso sólo sean ligeramente inferiores a los valores del presente ejercicio; se daría con mayor frecuencia el caso de un valor mínimo de la C/I , pero en la práctica sólo seguiría añadiendo una pequeña fracción del tiempo.

Sabiendo que la p.i.r.e. necesaria para un determinado EES depende, entre otras cosas, de la longitud del enlace, fue necesario calcular la p.i.r.e. separadamente para cada enlace, para lo cual se supuso una relación C/N de funcionamiento de 15 dB a la entrada de cada receptor, de esta forma:

$$p.i.r.e. - 20 \log (4 \times \pi \times d/\lambda) + G - 10 \log (k T B) = 15 \text{ dB}$$

donde:

d : longitud del trayecto (m) (máxima en el caso no OSG/OSG)

λ : longitud de onda (m)

G : ganancia en el eje de la antena de recepción (dBi)

k : constante de Boltzmann ($-228,6$ dB(W/(Hz · K)))

T : temperatura de ruido del enlace medida en la entrada del receptor (K)

B : anchura de banda de referencia (1 MHz).

CUADRO 1

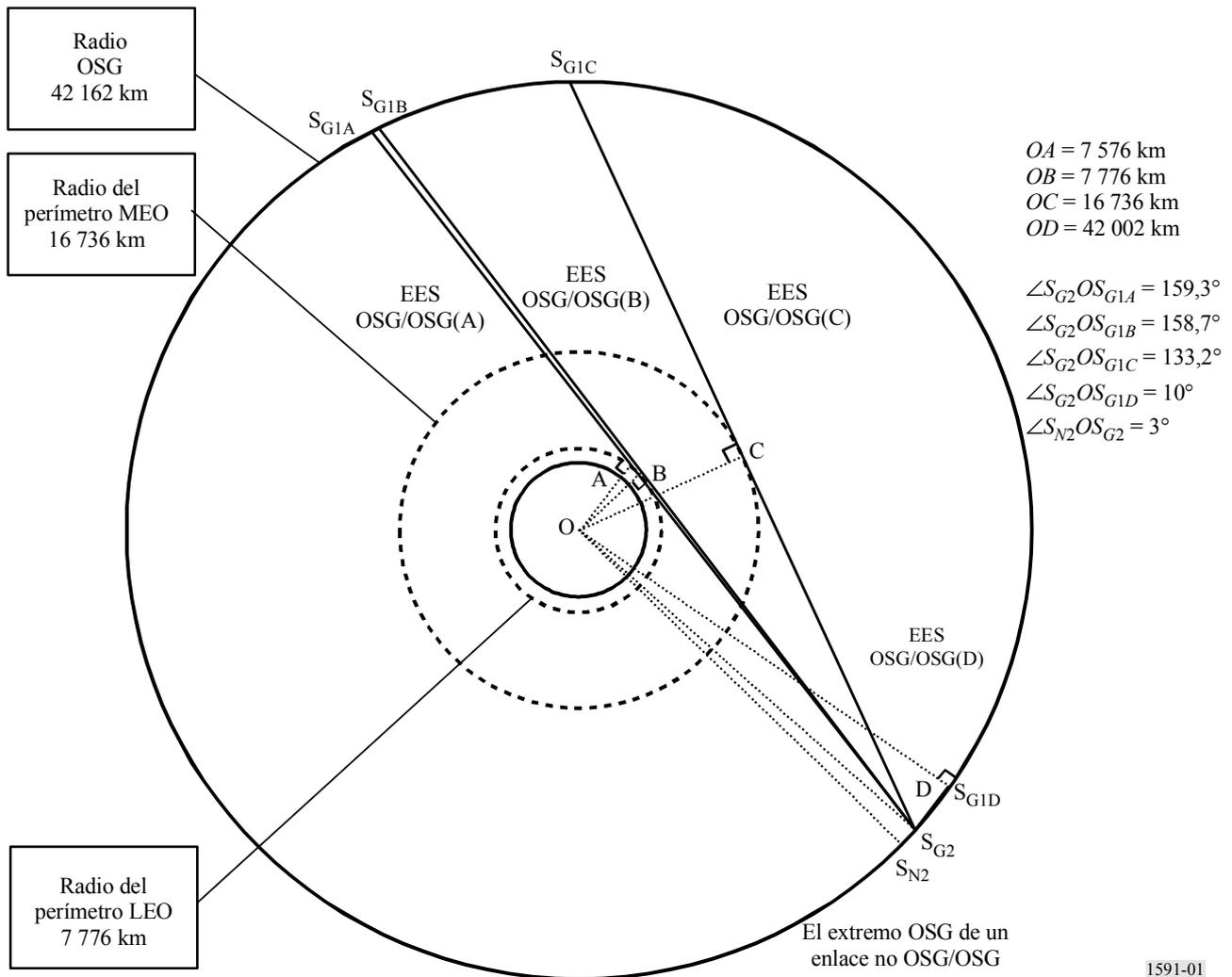
Parámetros de enlaces característicos entre satélites en las bandas del SES por debajo de 71 GHz

Tipo de EES	LEO/OSG	MEO/OSG	OSG/OSG (A)	OSG/OSG (B)	OSG/OSG (C)	OSG/OSG (D)
Forma de la órbita	Circular					
Altura orbital (km)	1 400	10 360	35 786			
Número de planos orbitales	7 (+OSG)	4 (+OSG)	1			
Número de satélites por plano	9 (+1 en OSG)	6 (+1 en OSG)	2			
Inclinación no OSG (grados)	48	82,5	0			
Desplazamiento del nodo ascendente (grados)	25,714	45	0			
Desplazamiento de la anomalía verdadera (grados)	0		No aplicable			
Longitud de los satélites OSG (°E)	-3		0 y 159,3	0 y 158,74	0 y 133,23	0 y 9,99
Fase relativa del plano adyacente (grados)	28,57	45	No aplicable			
Estrategia de traspaso	Satélite LEO más cercano	Satélite MEO más cercano	No aplicable			
Método de puntería del haz del satélite	Seguimiento		Fijo			
Diámetro de la antena del EES (m)	1					
Ganancia máxima de la antena del EES (dBi)						
23 GHz	45,4					
32,5 GHz	48,4					
62,2 GHz	54,0					
Diagrama de la antena del EES	Recomendación UIT-R S.672 $L_N = -25$ dB					
Abertura del haz del EES (grados)						
23 GHz	0,91					
32,5 GHz	0,65					
62,2 GHz	0,34					
Longitud del EES (km)	Variable, máxima 43	Variable, máxima 45	83 128	82 877	77 396	7 339
Relación C/N a la entrada del receptor (dB)	15					
p.i.r.e./MHz (dBW)	41,8	42,4	47,6	47,5	46,9	26,5
Temperatura de ruido del sistema EES (K)	700					

3 Modelo de simulación

En la Fig. 1 se representan los detalles geométricos de los cuatro enlaces EES OSG/OSG. Se calcularon manualmente los niveles máximos de interferencia en los dos sentidos de transmisión, hacia adelante y hacia atrás, pero en este caso sólo fue necesario establecer el modelo en un sentido de transmisión para verificar los resultados de estos cálculos por simulación. El modelo se creó para simular las transmisiones del satélite, de S_{G1} a S_{G2} y de S_{N1} a S_{N2} , y, por tanto, la interferencia de S_{N1} a S_{G2} y de S_{G1} a S_{N2} . El satélite S_{N1} , que no está representado explícitamente en la Fig. 1, se encuentra en la constelación no geostacionaria y cambia de vez en cuando según la estrategia de seguimiento.

FIGURA 1
Ejemplo de EES OSG/OSG



Las simulaciones se hicieron con una separación geocéntrica de 3° entre un extremo de cada enlace OSG/OSG y el extremo OSG de cada enlace no OSG/OSG, dado que ésta es la separación mínima para la mayoría de los sistemas OSG del SFS que utilizan la misma frecuencia y que tienen la misma cobertura. Así, S_{G2} se situó en 0° y S_{N2} en 3° W. En el caso del EES OSG/OSG(A), se adoptó un valor de longitud de $159,3^\circ$ E, para el satélite del otro extremo ($S_{G1(A)}$), que corresponde al EES más largo que podría provocar interferencia de $S_{G1(A)}$ a S_{N2} ; si el EES fuera más largo, la Tierra bloquearía el trayecto de interferencia. Se hizo que el EES OSG/OSG(B) fuese tangente al «perímetro» orbital de la constelación LEO, y que el EES OSG/OSG(C) fuese tangente al perímetro orbital de la constelación MEO. Se incluyó un EES OSG/OSG(D) corto, con una variación de longitud de sólo 10° , para completar la configuración.

Este modelo permitió determinar 48 series de valores de la *C/I* en una sola simulación, es decir:

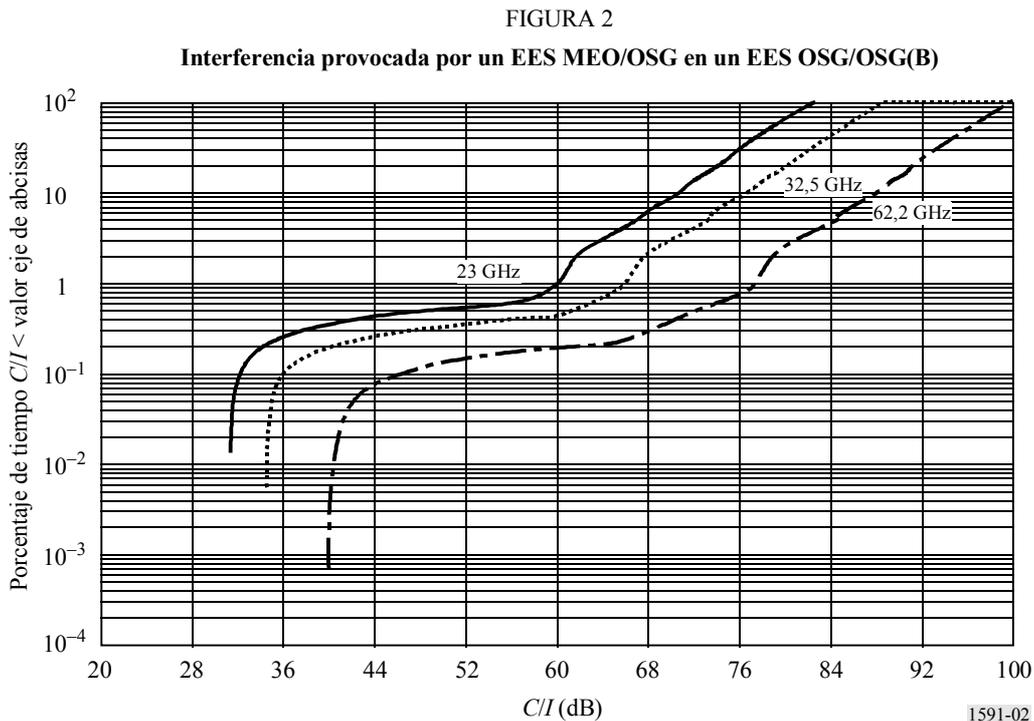
- a) Interferencia del EES LEO/OSG al EES OSG/OSG(A) en cada una de las tres bandas del SES;
- b) Interferencia del EES LEO/OSG al EES OSG/OSG(B) en cada una de las tres bandas del SES;
- c) Interferencia del EES LEO/OSG al EES OSG/OSG(C) en cada una de las tres bandas del SES;
- d) Interferencia del EES LEO/OSG al EES OSG/OSG(D) en cada una de las tres bandas del SES;
- e) Interferencia del EES MEO/OSG al EES OSG/OSG(A) en cada una de las tres bandas del SES;
- f) Interferencia del EES MEO/OSG al EES OSG/OSG(B) en cada una de las tres bandas del SES;
- g) Interferencia del EES MEO/OSG al EES OSG/OSG(C) en cada una de las tres bandas del SES;
- h) Interferencia del EES MEO/OSG al EES OSG/OSG(D) en cada una de las tres bandas del SES;
- i) Interferencia del EES OSG/OSG(A) al EES LEO/OSG en cada una de las tres bandas del SES;
- j) Interferencia del EES OSG/OSG(B) al EES LEO/OSG en cada una de las tres bandas del SES;
- k) Interferencia del EES OSG/OSG(C) al EES LEO/OSG en cada una de las tres bandas del SES;
- l) Interferencia del EES OSG/OSG(D) al EES LEO/OSG en cada una de las tres bandas del SES;
- m) Interferencia del EES OSG/OSG(A) al EES MEO/OSG en cada una de las tres bandas del SES;
- n) Interferencia del EES OSG/OSG(B) al EES MEO/OSG en cada una de las tres bandas del SES;

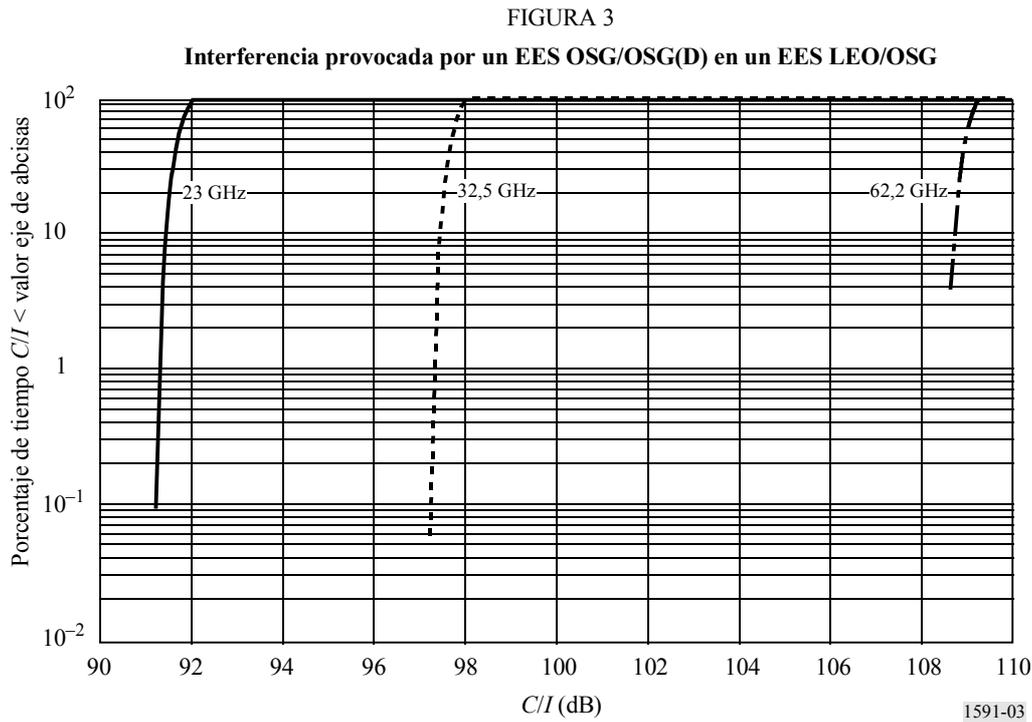
- o) Interferencia del EES OSG/OSG(C) al EES MEO/OSG en cada una de las tres bandas del SES;
- p) Interferencia del EES OSG/OSG(D) al EES MEO/OSG en cada una de las tres bandas del SES.

En cada una de estas simulaciones se representaron unos seis días de tiempo orbital, con incrementos de tiempo de un segundo, lo que significa que se calcularon cerca de $6 \times 24 \times 60 \times 60 = 518400$ muestras de la C/I para cada uno de los 48 escenarios. Fue suficiente para obtener una función de distribución acumulativa (FDA) uniforme en cada caso.

4 Resultados

Se hizo inicialmente una simulación con el modelo para el escenario de referencia, estando el satélite S_{N2} situado a 3° W, es decir con una separación de 3° del satélite S_{G2} , y los resultados se representaron en forma de distribución temporal acumulada de los valores de la C/I . Como era de esperar, la interferencia variaba con el tiempo en todos los casos y esto confirma que el criterio de corto plazo es el apropiado para determinar la compartición de frecuencias. Para la mayoría de los enlaces incluso la interferencia a corto plazo era insignificante, y la relación C/I no se aproximó nunca a un umbral probable de interferencia. El valor mínimo de la C/I se observó para la interferencia provocada por el EES MEO/OSG a 23 GHz en el EES OSG/OSG(B): 31,5 dB aproximadamente. A manera de ejemplo, en las Figs. 2 y 3 se han representado los resultados de este caso y del «mejor» caso (EES OSG/OSG(D)). También se prepararon los otros gráficos (14 Figuras en cada uno con tres gráficos).





NOTA 1 – En la Fig. 2 se representan los valores más bajos de las 48 series de estadísticas C/I , y en la Fig. 3 los valores más altos.

Otras simulaciones con el satélite S_{N2} en distintas longitudes relativas a S_{G2} permitieron confirmar que las relaciones C/I más bajas se presentan, como era de esperar, cuando S_{N2} está más cerca de S_{G2} . Por tanto, se decidió hacer otras simulaciones para separaciones S_{N2} - S_{G2} cada vez más pequeñas, a fin de determinar las circunstancias en que pudiera ser difícil la compartición de frecuencias. Las relaciones C/I más bajas obtenidas de esta forma se enumeran en el Cuadro 2. Todas son para 23 GHz; en todos los casos, la relación es más alta cuanto más alta es la frecuencia, debido al aumento de la ganancia de antena.

CUADRO 2

Relaciones C/I mínimas para simulaciones con S_{N2} cerca de S_{G2}

Ángulos entre S_{N2} y S_{G2} (grados)	EES interferente	EES interferido	Relación C/I mínima (dB)
3	MEO/OSG	OSG/OSG(B)	31,3
2	OSG/OSG(A)	MEO/OSG	19,3
1,5	OSG/OSG(A)	MEO/OSG	13,0
1,0	OSG/OSG(A)	MEO/OSG	14,4
0,5	MEO/OSG	OSG/OSG(A)	4,6

Para el funcionamiento en la misma frecuencia de EES característicos, los datos del Cuadro 2 demuestran que el satélite S_{N2} se puede situar sin riesgo en longitudes de sólo 3° con respecto a S_{G2} sin crear crestas de interferencia inaceptables y, por tanto, no es necesaria la coordinación si el ángulo geocéntrico entre S_{N2} y S_{G2} es superior a 3° .

Por último, se hicieron verificaciones para asegurarse de que los valores mínimos de la C/I se producen en algunos momentos cuando el satélite no OSG de un EES no OSG/OSG atraviesa el plano ecuatorial. Ello se hizo efectuando una simulación para identificar cuándo se producía el valor mínimo de la C/I de un determinado enlace, y repitiendo esa parte de la simulación al tiempo que se trazaban los valores de la C/I en el tiempo. La Fig. 4 es un ejemplo de este proceso: las dos representaciones corresponden a la simulación de un EES no OSG/OSG en 23 GHz que interfiere en un EES OSG/OSG(A), con una separación de sólo $0,5^\circ$ entre S_{N2} y S_{G2} . La representación inferior es una vista desde un punto en el espacio situado en el plano ecuatorial a 90° E de longitud, mirando hacia la Tierra, en el intervalo de tiempo correspondiente a T del diagrama superior. El satélite S_{N1} en el enlace EES MEO/OSG está pasando por el plano ecuatorial en ese momento. El satélite S_{N1} en el enlace EES LEO/OSG está al sur del plano ecuatorial en ese momento, pero un ejercicio similar permitió confirmar que el valor de la C/I mínimo también ocurre en este caso en algunos cruces del plano ecuatorial.

5 Conclusiones

Los resultados anteriores sugieren que los EES no OSG/OSG pueden funcionar, en la gran mayoría de los casos, con EES OSG/OSG sin necesidad de coordinación, siempre que el satélite OSG del EES no OSG/OSG no se encuentre a menos de 3° de uno de los satélites del EES OSG/OSG. También se ha demostrado que las relaciones C/I mínimas se observan en los momentos en que el satélite no OSG del EES no OSG/OSG está cruzando el plano ecuatorial. Si se decidiera utilizar un procedimiento de coordinación para facilitar la compartición de frecuencias, estos dos factores permitirían establecer un método sencillo, descrito en el Anexo 2, para determinar si es necesaria la coordinación. El método requiere un valor umbral de la C/I a corto plazo que determina la necesidad de coordinación.

A la luz de este estudio, podrían ser apropiadas las siguientes respuestas a los *decide* de la Cuestión UIT-R 265/4, en lo que concierne a la compartición de EES no OSG/OSG con EES OSG/OSG en las bandas del SES cercanas a 23 GHz, 32,5 GHz y 62,2 GHz.

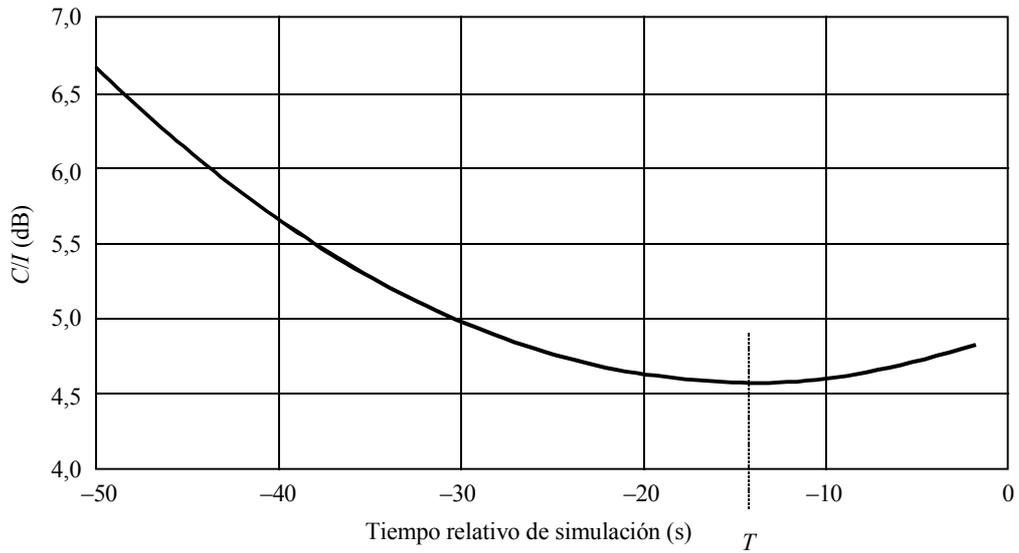
Dado que el método para determinar la necesidad de coordinación descrito en el Anexo 2 está basado en el cálculo de la relación C/I mínima, que sólo se observa en un porcentaje mínimo de tiempo (por ejemplo $< 0,1\%$ como se puede ver en el Fig. 2), se considera que un umbral de 3 dB por encima de la relación C/N correspondiente al objetivo de calidad sería suficientemente prudente para determinar la necesidad de coordinación. Por consiguiente, el método del Anexo 2 está basado en el siguiente criterio: la coordinación es necesaria si la relación C/I mínima en un ancho de banda de 1 MHz en cualquiera de los cuatro receptores del EES es inferior a la relación C/N identificada para ese receptor en el punto C.8 e) del Apéndice 4 del RR, + 3 dB, o inferior a 30 dB si no hubiera un valor de la C/N .

Obsérvese que el primer criterio definido para este umbral se refiere a la necesidad de cada receptor EES, y el segundo, que se aplica únicamente cuando no hay valores del punto C.8 e) del Apéndice 4 del RR para un determinado receptor, corresponde a un umbral que satisface los requisitos definidos por las administraciones.

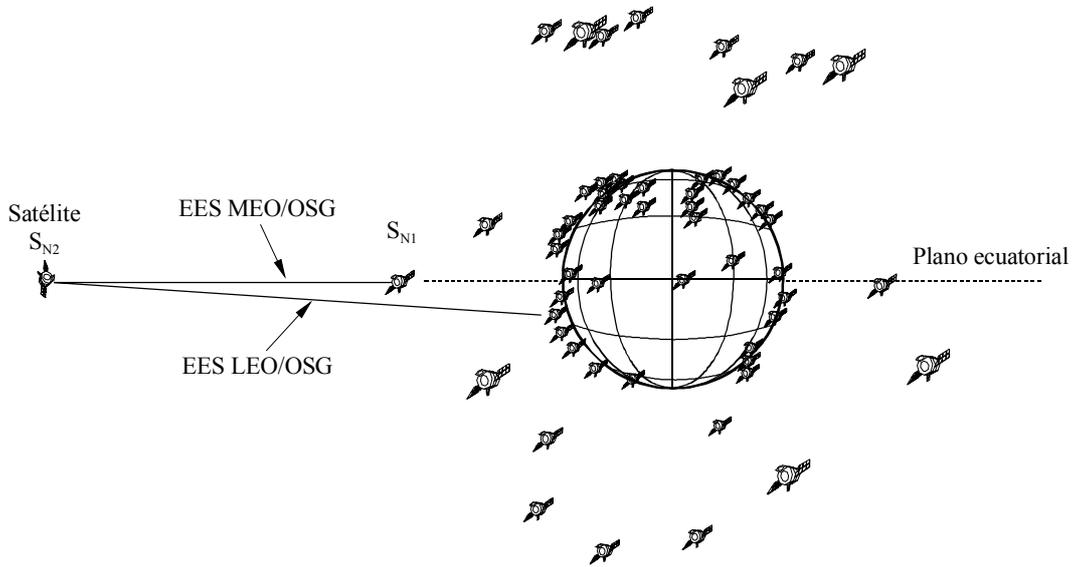
FIGURA 4

Ejemplo de paso por el plano ecuatorial correspondiendo con el valor mínimo de la C/I

Interferencia causada por un EES MEO/OSG en un EES OSG/OSG(A) a 23 GHz
 Separación de $0,5^\circ$ entre el satélite S_{N2} y el satélite S_{G2} en la órbita OSG



Dirección del EES interferente en el momento T



Nota – No se presentan los EES OSG/OSG.

ANEXO 2

Método para determinar si es necesaria la coordinación para un EES no OSG/OSG que comparte frecuencias con un EES OSG/OSG

El método se aplica a las bandas del SES entre 22 GHz y 71 GHz, cuando hay superposición de frecuencias entre una portadora de un EES no OSG/OSG y una portadora de un EES OSG/OSG. Naturalmente, la coordinación no es necesaria si no hay superposición.

Sería conveniente preparar un diagrama similar al de la Fig. 5, con los valores reales de longitud propuestos para los satélites OSG en los extremos del EES OSG/OSG y en el extremo OSG del EES no OSG/OSG. Obsérvese que la Fig. 5 muestra el momento en el que S_{N1} es alineado con S_{G1} y S_{N2} .

Cuando el ángulo $\theta \geq \pm 3^\circ$ y la línea $S_{G1}S_{N2}$ no corta el perímetro de la órbita del sistema no geoestacionario considerado, se puede decidir que no es necesaria la coordinación.

Sea cual sea el valor del ángulo θ , si la línea $S_{G1}S_{N2}$ corta el perímetro de la órbita del sistema no geoestacionario considerado, también cuando el ángulo $\theta < \pm 3^\circ$ y la línea no corta el perímetro de la órbita del sistema no geoestacionario considerado, deben calcularse las longitudes de trayecto $S_{G1}S_{G2}$, $S_{N1}S_{N2}$, $S_{G1}S_{N2}$ y $S_{N1}S_{G2}$ (km), y calcular los ángulos respecto al eje φ_{G1} , φ_{G2} y φ_{N1} (grados), aplicando el método descrito en la Fig. 5 y las ecuaciones siguientes. Obsérvese que, si la línea $S_{G1}S_{N2}$ corta el perímetro de la órbita del sistema no geoestacionario, el ángulo $\varphi_{N2} = 0^\circ$ en cada momento en línea. Entonces se deberá calcular la p.i.r.e. por MHz (E) de cada EES, en los dos sentidos de transmisión, restando $10 \log$ (anchura de banda de portadora (MHz)) de la p.i.r.e. operacional de la portadora. Por último, se calculará la relación C/I de la siguiente forma:

$$(C/I)_{G1} = E_{G2} - E_{N2} + D_T(\varphi_{N2}) + D_R(\varphi_{G1}) + 20 \times \log[(S_{N2}S_{G1})/(S_{G2}S_{G1})] \quad \text{dB}$$

$$(C/I)_{G2} = E_{G1} - E_{N1} + D_T(\varphi_{N1}) + D_R(\varphi_{G2}) + 20 \times \log[(S_{N1}S_{G2})/(S_{G1}S_{G2})] \quad \text{dB}$$

$$(C/I)_{N1} = E_{N2} - E_{G2} + D_T(\varphi_{G2}) + D_R(\varphi_{N1}) + 20 \times \log[(S_{G2}S_{N1})/(S_{N2}S_{N1})] \quad \text{dB}$$

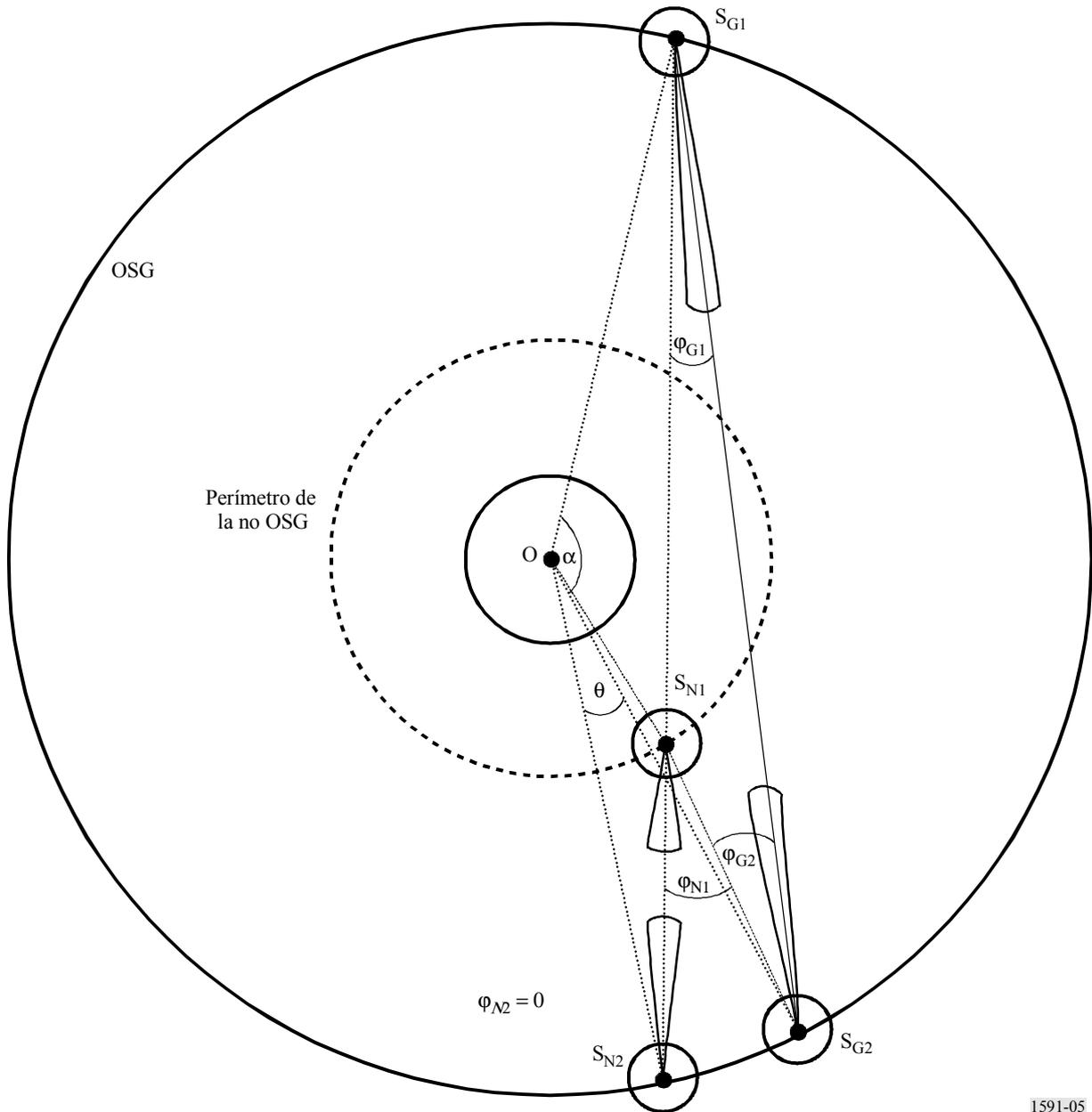
$$(C/I)_{N2} = E_{N1} - E_{G1} + D_T(\varphi_{G1}) + D_R(\varphi_{N2}) + 20 \times \log[(S_{G1}S_{N2})/(S_{N1}S_{N2})] \quad \text{dB}$$

donde D_T es la discriminación (dB) determinada por la ganancia en el eje menos la ganancia en el ángulo respecto al eje considerado, de la antenna transmisora interferente y similarmente, D_R (dB) discriminación de la antenna receptora interferida. Obsérvese que, si la línea $S_{G1}S_{N2}$ corta el perímetro de la órbita del sistema no geoestacionario, $D_T(\varphi_{N2}) = D_R(\varphi_{N2}) = 0$ dB en cada momento en línea. (Se supone que los diagramas de antenna del EES se incluirán en la información proporcionada en el Apéndice 4 del RR. Si así no fuera, se puede utilizar el diagrama de una sola alimentación de la Recomendación UIT-R S.672.)

Si estas cuatro relaciones C/I fueran todas superiores o iguales al umbral, se podrá decidir que no es necesaria la coordinación. Si uno o más de estos valores es inferior al umbral, la coordinación es necesaria. El umbral de cada uno de los cuatro receptores del EES es el valor de la C/N identificado para ese receptor en el punto C.8 e) del Apéndice 4 del RR, + 3 dB; si no hubiera un valor de la C/N , el umbral es de 30 dB.

FIGURA 5

Geometría para determinar si es necesaria la coordinación



1591-05

Las variables que aparecen a continuación en negrita son las necesarias en las ecuaciones de la relación *C/I* en el texto que aparece sobre la Fig. 5.

$OS_{G1} = OS_{G2} = OS_{N2} = 42\,162$ km. $OS_{N1} = (6\,376 + h)$ km, donde h es la altura del plano no OSG (km).

$$\therefore \mathbf{S_{G1}S_{G2}} = [2 \times (42\,162)^2 \times \{1 - \cos(\alpha)\}]^{0,5} \text{ y } \angle OS_{G1}S_{G2} = \text{sen}^{-1}[(42\,162) \times \text{sen}(\alpha)/(S_{G1}S_{G2})].$$

En las siguientes ecuaciones, excepto la última, se deberá utilizar el signo más (+) si S_{N2} se encuentra fuera del arco entre S_{G1} y S_{G2} (el arco que corresponde al ángulo θ), y el signo menos (-) cuando S_{N2} está dentro de este arco.

$$\mathbf{S_{G1}S_{N2}} = [2 \times (42\,162)^2 \times \{1 - \cos(\alpha \pm \theta)\}]^{0,5} \text{ y } \angle OS_{G1}S_{N2} = \text{sen}^{-1}[(42\,162) \times \text{sen}(\alpha \pm \theta)/(S_{G1}S_{N2})].$$

Entonces $\phi_{G1} = \pm (\angle OS_{G1}S_{G2} - \angle OS_{G1}S_{N2}) = \theta/2$

Si la línea $S_{G1}S_{N2}$ corta el perímetro orbital del sistema no OSG considerado, se continúa con las ecuaciones del párrafo «ecuaciones cuando hay intersección». Si el ángulo $\theta < 3^\circ$ y la línea $S_{G1}S_{N2}$ no corta el perímetro de la órbita del sistema no OSG considerado, se continúa con las ecuaciones del párrafo «ecuaciones cuando no hay intersección».

Ecuaciones cuando hay intersección

$$\angle OS_{N1}S_{G1} = \text{sen}^{-1}[(42\ 162) \times \text{sen}(\angle OS_{G1}S_{N2})/(6\ 376 + h)], \text{ y}$$

$$\angle S_{G1}OS_{N1} = 180^\circ - \angle OS_{G1}S_{N2} - \angle OS_{N1}S_{G1}$$

$$\therefore S_{G1}S_{N1} = [(42\ 162)^2 + (6\ 376 + h)^2 - 2 \times (42\ 162) \times (6\ 376 + h) \times \cos(\angle S_{G1}OS_{N1})]^{0,5},$$

$$\text{y } S_{N1}S_{N2} = S_{G1}S_{N2} - S_{G1}S_{N1}$$

$$\text{También } S_{N1}S_{G2} = [(S_{G1}S_{N1})^2 + (S_{G1}S_{G2})^2 - 2 \times (S_{G1}S_{N1}) \times (S_{G1}S_{G2}) \times \cos(\varphi_{G1})]^{0,5}$$

$$\therefore \varphi_{G2} = \text{sen}^{-1} [(S_{G1}S_{N1}) \times \text{sen}(\varphi_{G1})/(S_{N1}S_{G2})], \text{ y } \varphi_{N1} = \varphi_{G1} + \varphi_{G2}$$

$$\varphi_{N2} = \angle S_{G1}S_{N2}S_{N1} = 0^\circ$$

Ecuaciones cuando no hay intersección

La posición de S_{N1} es determinante en este caso, porque no está en la línea que une S_{G1} y S_{N2} . Se determina la posición de S_{N1} colocándolo lo más cerca posible de la línea $S_{G1}S_{G2}$, de forma que OS_{N1} sea perpendicular a $S_{G1}S_{G2}$.

$$\therefore \angle S_{G1}OS_{N1} = \angle S_{G2}OS_{N1} = \alpha/2$$

$$\therefore S_{G1}S_{N1} = [(42\ 162)^2 + (6\ 376 + h)^2 - 2 \times (42\ 162) \times (6\ 376 + h) \times \cos(\angle S_{G1}OS_{N1})]^{0,5}$$

$$\angle S_{N2}OS_{N1} = \alpha/2 \pm \theta$$

$$\begin{aligned} \therefore S_{N1}S_{N2} &= [(42\ 162)^2 + (6\ 376 + h)^2 - 2 \times (42\ 162) \times (6\ 376 + h) \times \cos(\angle S_{N2}OS_{N1})]^{0,5} \\ &= [(42\ 162)^2 + (6\ 376 + h)^2 - 2 \times (42\ 162) \times (6\ 376 + h) \times \cos(\alpha/2 \pm \theta)]^{0,5} \end{aligned}$$

$$S_{N1}S_{G2} = S_{N1}S_{G1} = \{[(42\ 162 \times \cos(\alpha/2) - (6\ 376 + h))]^2 + [S_{G1}S_{G2}/2]^2\}^{0,5}$$

$$\varphi_{G2} = \cos^{-1}[(S_{G1}S_{G2})/(2 \times S_{N1}S_{G2})]$$

$$\varphi_{N1} = 180 - (90 - \varphi_{G2}) - \angle OS_{N1}S_{N2} = 90 + \varphi_{G2} - \text{sen}^{-1} \{ [42\ 162 \times \text{sen}(\alpha/2 \pm \theta)] / S_{N1}S_{N2} \}$$

En la siguiente ecuación, se deberá utilizar el signo más (+) si S_{N2} está dentro del arco entre S_{G1} y S_{G2} (el arco que corresponde al ángulo θ), y el signo menos (-) cuando S_{N2} se encuentra fuera de este arco.

$$\varphi_{N2} = \angle S_{G1}S_{N2}S_{N1} = \text{sen}^{-1} \{ [S_{G1}S_{N1} \times \text{sen}(\varphi_{G1} \pm \varphi_{G2})] / S_{N1}S_{N2} \}$$

