

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1759

Análisis de la interferencia causada por las transmisiones operativas de los sistemas espaciales HEO en las bandas del SFS a las redes OSG y directrices correspondientes que deben utilizarse en el diseño y explotación de dispositivos STT para sistemas del SFS de tipo HEO

(2006)

Cometido

Esta Recomendación presenta un análisis de la interferencia provocada por las transmisiones operativas de sistemas espaciales del servicio fijo por satélite (SFS) de tipo HEO a las redes de satélites geoestacionarios (OSG) en las bandas del SFS sujetas a los límites de dfpe del Artículo 22 del RR. Presenta también técnicas que pueden tomarse en consideración para el diseño y explotación de los enlaces de seguimiento teledirigido y teledirigido (STT) de sistemas del SFS de tipo HEO de forma que se garantice una protección adecuada a los enlaces OSG que funcionan en la misma frecuencia, conforme al Artículo 22 del RR.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que todos los satélites del SFS plantean requisitos de seguimiento, teledirigido y teledirigido (STT);
- b) que las operaciones de STT se efectúan en los satélites del SFS cuando están en órbita de transferencia así como durante las operaciones regulares (en posición) en diversas órbitas de satélites no geoestacionarios (no OSG);
- c) que las transmisiones de la señal de teledirigido se generan y se terminan por control del operador del satélite;
- d) que las portadoras de STT han de estar sujetas a objetivos de calidad de funcionamiento y fiabilidad superiores a los de las portadoras de tráfico normal, objetivos que figuran en la Recomendación UIT-R S.1716;
- e) que la pérdida de las portadoras de teledirigido en el enlace ascendente hacia el satélite y de las portadoras de teledirigido y de determinación de la distancia en el enlace descendente durante las maniobras orbitales, o cuando se produce un fallo de funcionamiento crítico a bordo de un vehículo espacial, pueden traducirse en una pérdida del satélite;
- f) que las funciones operativas de STT se proporcionarán normalmente dentro de la banda de servicio en la que funciona la estación espacial, en lugar de en las bandas del *servicio de operaciones espaciales*, y que algunas estaciones espaciales con bandas de servicio por encima de 17 GHz pueden utilizar STT en bandas por debajo de 17 GHz;
- g) que debe darse cierta flexibilidad a los operadores del SFS de tipo HEO para explotar las funciones de TTC en la banda de frecuencias más adecuada;

h) que la mayoría de los satélites del SFS de tipo HEO transmiten y reciben portadoras de servicio solamente mientras están dentro de sus arcos «activos» con una gran separación angular de sus enlaces OSG, pero que no sería factible limitar las operaciones de STT a dichos arcos activos;

j) que pueden existir varias posibilidades en cuanto a la forma de superar el reto que supone la explotación de los enlaces STT en los sistemas de tipo HEO en bandas del SFS, con arreglo a los límites de dfpe del Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), dando al mismo tiempo la protección adecuada a los sistemas OSG que funcionan en estas bandas,

reconociendo

a) que en las bandas de frecuencias sujetas al número 22.2 del RR, es necesario asegurar que las transmisiones de STT de los enlaces ascendente y descendente de tipo HEO no causen interferencia inaceptable a las redes del SRS y del SFS OSG;

b) que en ciertas bandas de frecuencias identificadas en el Artículo 22 del RR se exige a los satélites de tipo HEO cumplir con límites de dfpe;

c) que en las bandas de frecuencias del SFS no identificadas en el *reconociendo* a), la compartición entre sistemas del SFS de tipo HEO y las redes del SFS OSG está sujeta a las disposiciones pertinentes de la Sección II del Artículo 9 del RR,

recomienda

1 que el análisis técnico y operativo así como las técnicas indicadas en el Anexo 1, sean tenidas en cuenta por los operadores de sistemas del SFS de tipo HEO en el diseño y explotación de sus sistemas de STT.

Anexo 1

Análisis de la interferencia causada por las transmisiones operativas de los sistemas espaciales HEO en las bandas del SFS a las redes OSG y algunas técnicas para la reducción de la interferencia

Resumen

Mientras que un satélite HEO típico (las referencias a sistemas HEO en este Anexo indican sistemas del SFS de tipo HEO) transmite y recibe portadoras de servicio solamente mientras está dentro de su arco o arcos «activo(s)», sus portadoras STT deben permanecer activas aun cuando está fuera de dicho arco (o arcos) y, por lo tanto, es probable que les resulte difícil cumplir con lo dispuesto en el número 22.2 del RR, incluyendo, cuando sea de aplicación, los límites de la dfpe del Artículo 22 del RR. Mediante simulaciones informatizadas de los enlaces STT en un sistema HEO de ejemplo se han logrado identificar algunas posibilidades para superar este problema.

1 Introducción

En los últimos años las Comisiones de Estudio de Radiocomunicaciones han recibido los resultados de numerosos estudios de interferencia entre sistemas HEO y redes OSG y, por lo general, estos resultados indicaron que los citados sistemas HEO en cuestión podrían cumplir los límites de $dfpe_{\downarrow}$ y $dfpe_{\uparrow}$ de los Cuadros 22-1A, B, D y E y del Cuadro 22-2 del Artículo 22 del RR. En dichos estudios se calculó la interferencia para los enlaces de servicio de los sistemas HEO, cada uno de los cuales está diseñado de manera que sus satélites sigan en forma secuencial una traza repetida del satélite sobre la superficie de la Tierra, estando situado el apogeo en el punto de máxima latitud o cerca del mismo, transmitiendo o recibiendo cada uno de los satélites solamente mientras está dentro de un arco «activo» que contiene el apogeo. Una de las consecuencias de estas configuraciones es que, en lo que se refiere a los enlaces de servicio, no hay ningún satélite transmitiendo o recibiendo mientras está pasando a través, o cerca, de la línea que une cualquier satélite geostacionario con cualquier punto de la superficie de la Tierra. En un estudio reciente de 12 configuraciones orbitales HEO distintas se observó que el ángulo mínimo con respecto al eje de cualquier enlace OSG en el cual se producía transmisión del enlace de servicio HEO era superior a 25°. Esta característica de los sistemas HEO típicos les permite generalmente cumplir con los límites de $dfpe$ sin tener que aplicar técnicas adicionales de reducción de la interferencia.

Normalmente el arco «activo» de un sistema HEO no abarca más que una cuarta o una tercera parte de cada periodo orbital; durante el resto, la continuidad de los enlaces de servicios es mantenida por los demás satélites que siguen la traza repetida del satélite sobre la superficie de la Tierra. Pero todos y cada uno de los satélites de un sistema requieren sus propias portadoras de teledifusión y telemando, en frecuencias que utilizan en forma exclusiva (dentro del sistema), y estas portadoras deben poder ser transmitidas en cualquier instante durante la vida útil del satélite en órbita. Esto se cumple para todos los tipos de satélites geostacionarios y no geostacionarios, y no es una característica exclusiva de los satélites HEO. Evidentemente, no resultaría viable la explotación de un satélite cuyas portadoras de teledifusión y telemando sólo pudieran transmitirse durante la cuarta o la tercera parte de cada periodo de 12, 18 ó 24 h; y es probable que, a diferencia de los enlaces del servicio de los sistemas HEO, sea preciso transmitir por los enlaces STT durante transiciones «en línea» de los enlaces OSG. Por lo tanto, se considera necesario realizar una evaluación separada de los enlaces STT HEO en el contexto del número 22.2 del RR, incluyendo cuando sea pertinente los límites de $dfpe$ del Artículo 22 del RR. Deben además tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- Este Anexo se centra principalmente en el cumplimiento de las operaciones de STT dentro de la banda de servicio del sistema HEO, en lugar de dentro de las bandas del *servicio de operaciones espaciales* (SOE), ya que es corriente adoptar este método en los diseños de sistemas de satélites modernos. El número 1.23 del RR define también el SOE de la siguiente manera: «**1.23 servicio de operaciones espaciales: Servicio de radiocomunicación** que concierne exclusivamente al funcionamiento de los *vehículos espaciales*, en particular el *seguimiento espacial*, la *teledifusión espacial* y el *telemando espacial*. Estas funciones serán normalmente realizadas dentro del servicio en el que funcione la *estación espacial*». En el presente Anexo se explora de manera sucinta la posibilidad de realizar las operaciones de STT dentro de las bandas del SOE.
- Aunque el sistema HEO utilizado como ejemplo se basa en operaciones de STT en la banda 12-18 GHz (banda Ku), los resultados de este Anexo serían también aplicables a las operaciones de STT en otras bandas de frecuencias con sujeción a los límites de $dfpe$ del Artículo 22 del RR.
- En los casos de operaciones de STT en bandas de frecuencias del SFS que no están sujetas a límites de $dfpe$, este Anexo ayudará también a analizar la interferencia así como a identificar y evaluar las técnicas para reducir la interferencia provocada a las redes OSG.

2 Enlaces STT del sistema HEO de ejemplo

Se creó un modelo informático para evaluar la naturaleza del problema esbozado en la introducción. Este modelo permitió calcular las estadísticas de la interferencia causada por los enlaces STT de un sistema HEO de ejemplo a diversos enlaces ascendentes y descendentes OSG. Las características esenciales del sistema HEO de ejemplo, conocido como N-SAT-HEO2 en la terminología del UIT-R, son las siguientes:

- tres satélites siguen la misma traza sobre la superficie de la tierra, en planos inclinados 45° respecto al Ecuador, estando sus nodos ascendentes separados 120° entre sí en el plano ecuatorial;
- la altura del apogeo es de 39 970 km, su latitud 45° N y su longitud, común a los tres planos, 135° E;
- la altura del perigeo es 31 602 km, y la excentricidad de la órbita es 0,099; esta excentricidad reducida hace que cada uno de los satélites esté por encima de la altitud geostacionaria mientras está en su arco «activo», y a sólo 412 km por debajo de su altura geostacionaria cuando cruza el Ecuador;
- cuando se desplazan de Norte a Sur, las trazas de los satélites HEO sobre la superficie de la tierra cruzan el Ecuador a $123,7^\circ$ E, y cuando se desplazan de Sur a Norte lo cruzan a $146,3^\circ$ E;
- en cuanto a los enlaces de servicio, el arco «activo» se extiende desde 4 h antes del apogeo a 4 h después del apogeo (es decir, para latitudes del satélite por encima de $26,5^\circ$ N);
- hay cuatro portadoras de teledida con polarización circular; es decir, una por satélite y una cuarta de reserva, en frecuencias distintas dentro de la banda del SFS de 12 GHz, y cada una con una anchura de banda de 605 kHz, aunque durante la mayor parte del tiempo casi toda la potencia está dentro de ± 20 kHz de la frecuencia central de la portadora; la anchura de banda total del enlace descendente es, por lo tanto, unos 2,5 MHz; la p.i.r.e. del satélite para cada portadora de teledida es 7 dBW; el sistema está diseñado de modo que cada satélite puede transmitir su portadora de teledida en forma continua;
- para cada uno de los tres satélites hay una portadora de telemando con polarización circular en una frecuencia separada en la banda del SFS de 14 GHz, con anchura de banda de 600 kHz, aunque, una vez más, la mayor parte de la potencia se encuentra a ± 20 kHz de la frecuencia central de la portadora; por lo tanto, la anchura de banda total del enlace ascendente es de unos 2 MHz; la p.i.r.e. por cada portadora de telemando en modo normal es 50 dBW (80 dBW en modo de emergencia); el sistema está diseñado de manera que cada una de las tres portadoras de telemando pueda ser transmitida en cualquier instante; durante la mayor parte de cada órbita, la portadora de telemando a cada satélite se transmite (cuando es necesario) desde una estación terrena de STT situada en Japón ($36,53^\circ$ N/ $140,39^\circ$ E) pero, como el perigeo no es visible desde dicha estación terrena, una estación terrena de STT situada en Australia ($33,9^\circ$ S/ $151,17^\circ$ E) tiene a su cargo la transmisión de la señal de telemando hacia cada satélite (y la recepción de la señal de teledida desde el mismo) mientras está a ± 4 horas del perigeo;
- las estaciones terrenas de STT tienen antenas de 10 m de diámetro, diseñadas para satisfacer los diagramas de antena previstos en la Recomendación UIT-R S.580, y realizar el seguimiento del satélite al que están transmitiendo señales de telemando; como la Recomendación UIT-R S.580 sólo indica el diagrama a partir de 1° o $100 \cdot \lambda/D$, el valor que sea más pequeño de los dos (en este caso $100 \cdot \lambda/D$ es menor), deberá usarse el diagrama de lóbulo principal de otra Recomendación. El análisis realizado para este ejemplo utilizó un diagrama modificado de la Recomendación UIT-R S.1428 para el lóbulo principal;

- en cada uno de los satélites, el haz para transmisión de la portadora de la teledifusión y la recepción de la portadora de teledifusión tiene una ganancia de cresta de 16 dBi, lo que corresponde a una anchura de haz a potencia mitad de aproximadamente 30°, y se ha modelado de manera que satisfaga lo dispuesto en la Recomendación UIT-T S.672; en cada satélite, la antena de STT está fija al vehículo espacial y apunta hacia el punto subsatelital excepto durante el arco activo, cuando se controla la orientación del satélite de manera que apunte permanentemente hacia Japón.

En las Figs. 1 y 3 aparecen ilustraciones del sistema, en las cuales los tres satélites HEO siguen una única traza repetida del satélite sobre la superficie de la Tierra, mostrándose las estaciones terrenas de STT en Japón y en Australia. En la Fig. 1 se muestra una portadora de teledifusión que interfiere con tres enlaces ascendentes OSG, representando el enlace ascendente A el caso más desfavorable debido a una interferencia de haz principal a haz principal (estación terrena de STT de sistema HEO a satélite OSG) durante el cruce del ecuador del HEO; el enlace ascendente B representa un enlace de una estación terrena OSG con una elevación de 10° interfiriendo un satélite en la longitud de caso más desfavorable y el enlace ascendente C representa un enlace a un satélite OSG que está a la distancia exacta de una de las dos longitudes de caso más desfavorable como para permitir cumplir con el límite de $dfpe_{\uparrow}$. Cabe señalar que para los enlaces ascendentes A y C, la estación terrena OSG comparte su ubicación con la estación terrena de STT del HEO. En los enlaces ascendentes A y B la longitud del OSG es de 146,3° E. Para el enlace ascendente C la estación terrena OSG está 3,7° al Este a 150,0° E.

Análogamente, en la Fig. 3 se muestra una portadora de teledifusión que interfiere con tres enlaces descendentes OSG, D, E y F de carácter similar a los tres enlaces ascendentes. El enlace descendente F tiene un satélite OSG y una estación terrena correspondiente en el Ecuador, ambos ubicados a una longitud de 121,4° E calculada para estar a la distancia exacta (2,3°) de la longitud 123,7° E (una de las dos longitudes de caso más desfavorable) como para permitir cumplir el límite de $dfpe_{\downarrow}$. Para los enlaces descendentes D y E, la longitud del satélite OSG es de 123,7° E. La estación terrena OSG para el enlace descendente D está sobre el Ecuador, también a una longitud de 123,7° E. La estación terrena OSG para el enlace descendente E está en un punto cuyo ángulo de elevación hacia su satélite OSG es de 10°. Es preciso indicar que los enlaces D y F tienen cada uno de ellos un ángulo de elevación de 90°.

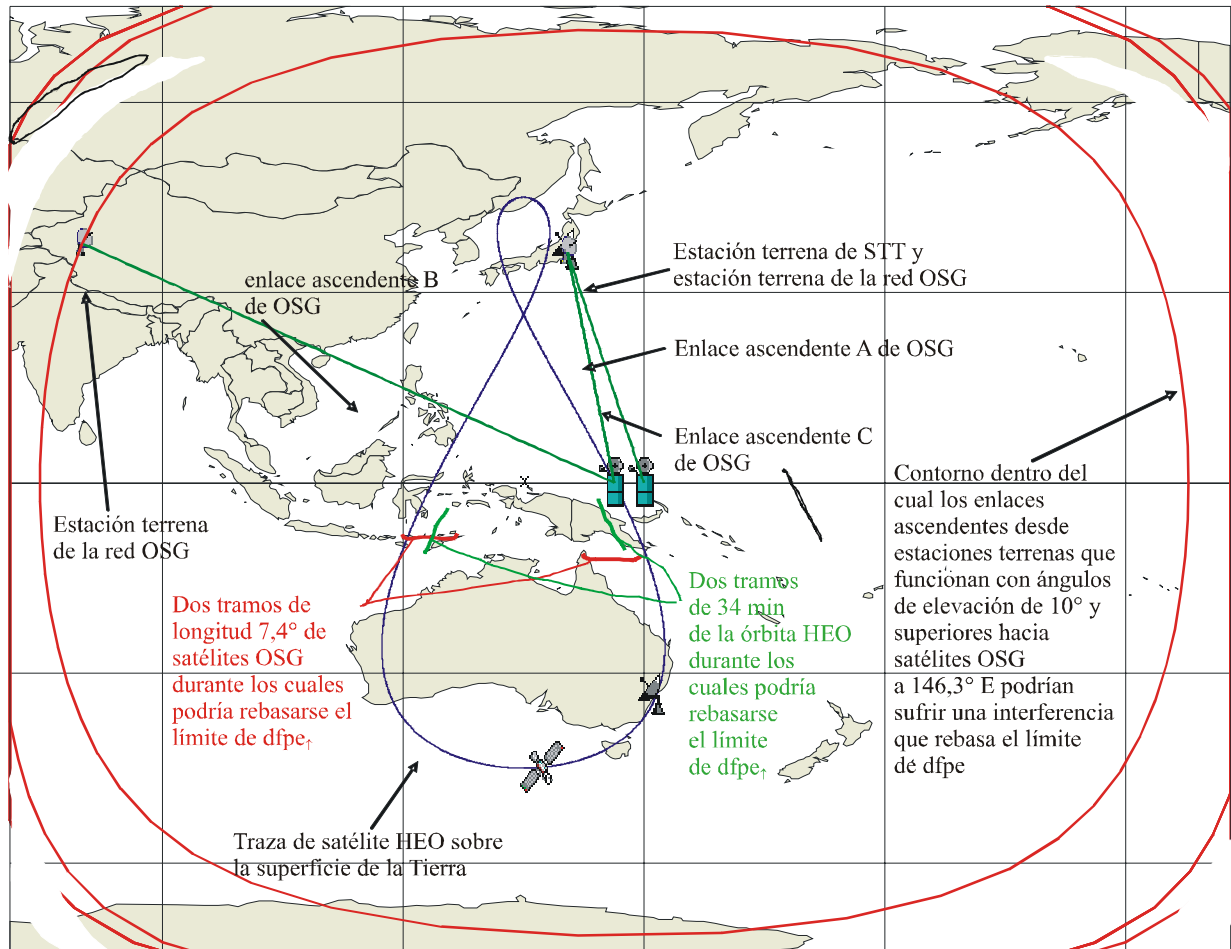
Obsérvese que el concepto en el que se basa la elección de los tres ejemplos de enlace de OSG para cada uno de los casos, es abarcar las circunstancias bajo las cuales las portadoras de STT del sistema HEO en cuestión superarían los límites de $dfpe$, a menos que se adopten las medidas necesarias para evitarlo. Por lo tanto,

- el enlace A es el caso más desfavorable de un enlace ascendente porque el satélite OSG está en una longitud de cruce del Ecuador del sistema HEO y esto hará que el satélite OSG se encuentre periódicamente en el haz principal de la estación terrena de alta ganancia de STT del sistema HEO;
- análogamente, el enlace D representa el caso más desfavorable de un enlace descendente porque el satélite HEO penetra periódicamente en el haz principal de la antena de recepción de la estación terrena OSG;
- los enlaces B y E conciernen a satélites OSG en longitudes de caso más desfavorable, en lo respecta a la interferencia procedente del sistema HEO, pero la longitud de la trayectoria de interferencia es máxima para el enlace E y en ambos enlaces las estaciones terrenas OSG funcionan con la elevación mínima; y

- los enlaces C y F conciernen a satélites OSG que están a una distancia exacta, en longitud, de los puntos de cruce del ecuador del HEO para que se satisfaga el correspondiente límite de $dfpe$ sobre la trayectoria de interferencia más corta.

FIGURA 1

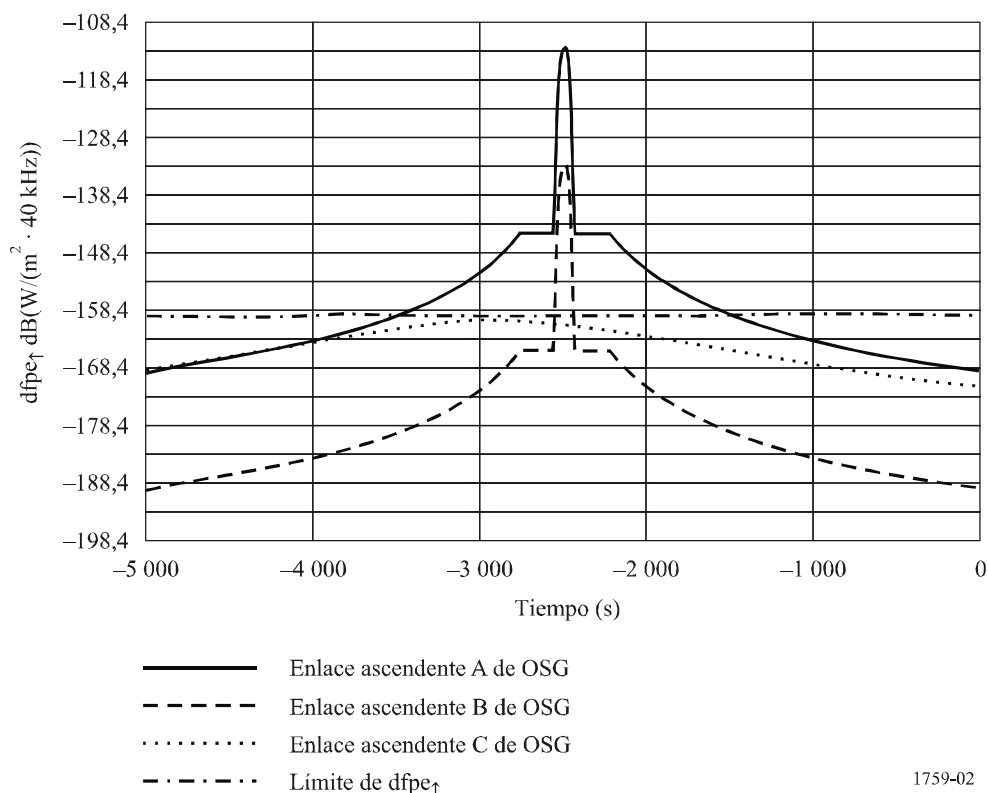
Posiciones orbitales OSG y emplazamientos de las estaciones terrenas para el análisis de la $dfpe$ del enlace ascendente



1759-01

La Fig. 2 representa, en función del tiempo, la $dfpe$ en los enlaces ascendentes A, B y C cuando uno de los satélites HEO atraviesa el plano ecuatorial, y muestra que para los enlaces A y B el límite es rebasado de manera significativa durante periodos de tiempo limitados, pero se cumple de forma ajustada en el caso del enlace C. En la Fig. 4 se ilustra la función de distribución acumulativa de la $dfpe$ para los tres enlaces descendentes OSG durante una órbita completa, y una vez más se observa que la máscara límite se rebasa en los enlaces D y E, pero se cumple de forma ajustada en el enlace F.

FIGURA 2

Variaciones de $dfpe_{\uparrow}$ durante transiciones en línea

1759-02

3 Efectos de la interferencia originada por las señales de STT del sistema HEO de ejemplo

Los efectos de la portadora de telemando se describen en la Fig. 1, se cuantifican en la Fig. 2, y pueden resumirse como sigue:

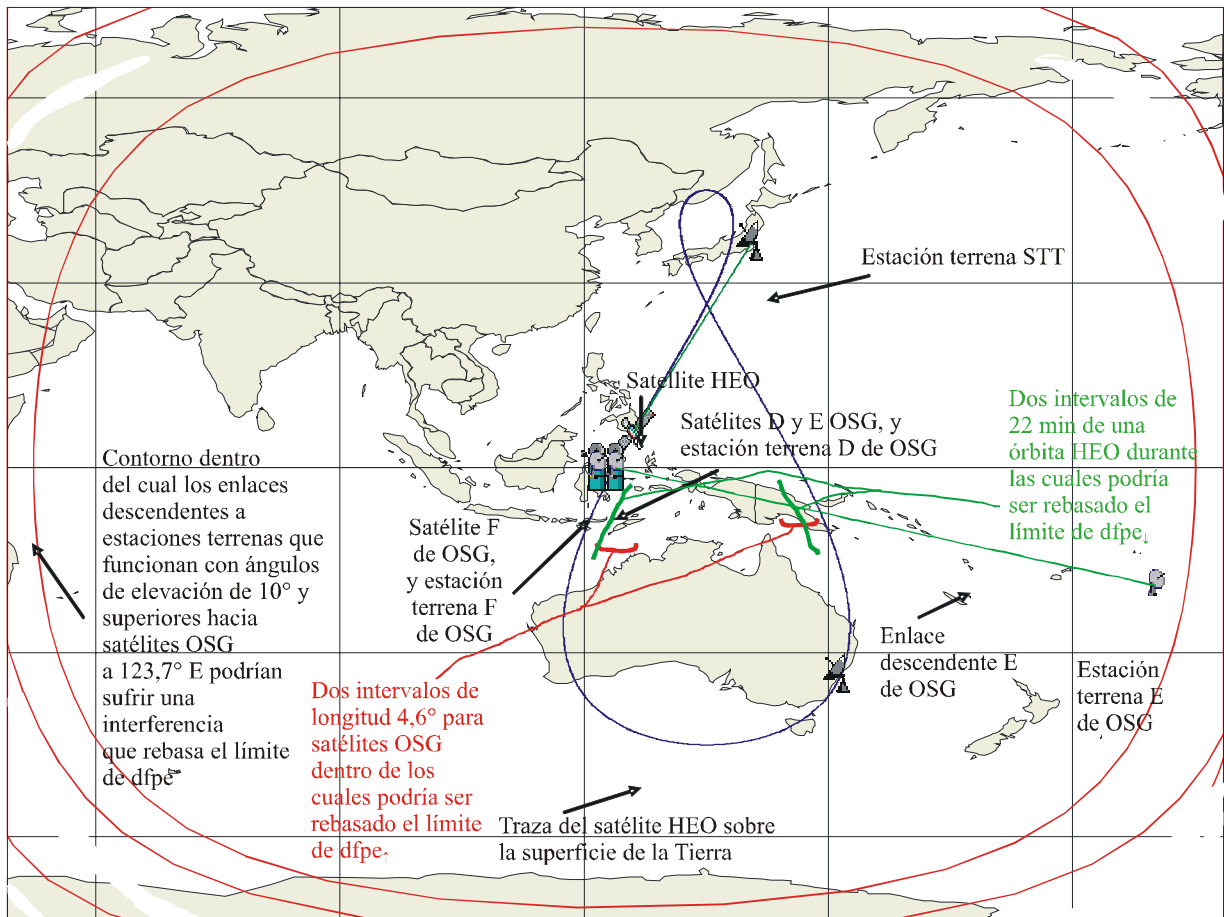
El límite de $dfpe_{\uparrow}$ sería rebasado en ciertas subbandas de 40 kHz con una anchura de banda total de unos 2 MHz. Sólo se verían afectados los enlaces ascendentes de satélites OSG en longitudes que se encuentran dentro de dos intervalos de 8,0°, y que suponen aproximadamente el 14% de los segmentos orbitales disponibles en la región. En estos casos, los límites serían rebasados durante dos periodos de hasta 37,7 minutos por periodo orbital, abarcando un máximo del 5,25% del tiempo. En los casos más desfavorables el límite sería superado en varias decenas de dB durante periodos de varias decenas de minutos, y aunque sería limitado el número de estaciones terrenas cuyos enlaces ascendentes se verían afectados, dichas estaciones podrían estar en cualquier emplazamiento geográfico de la región.

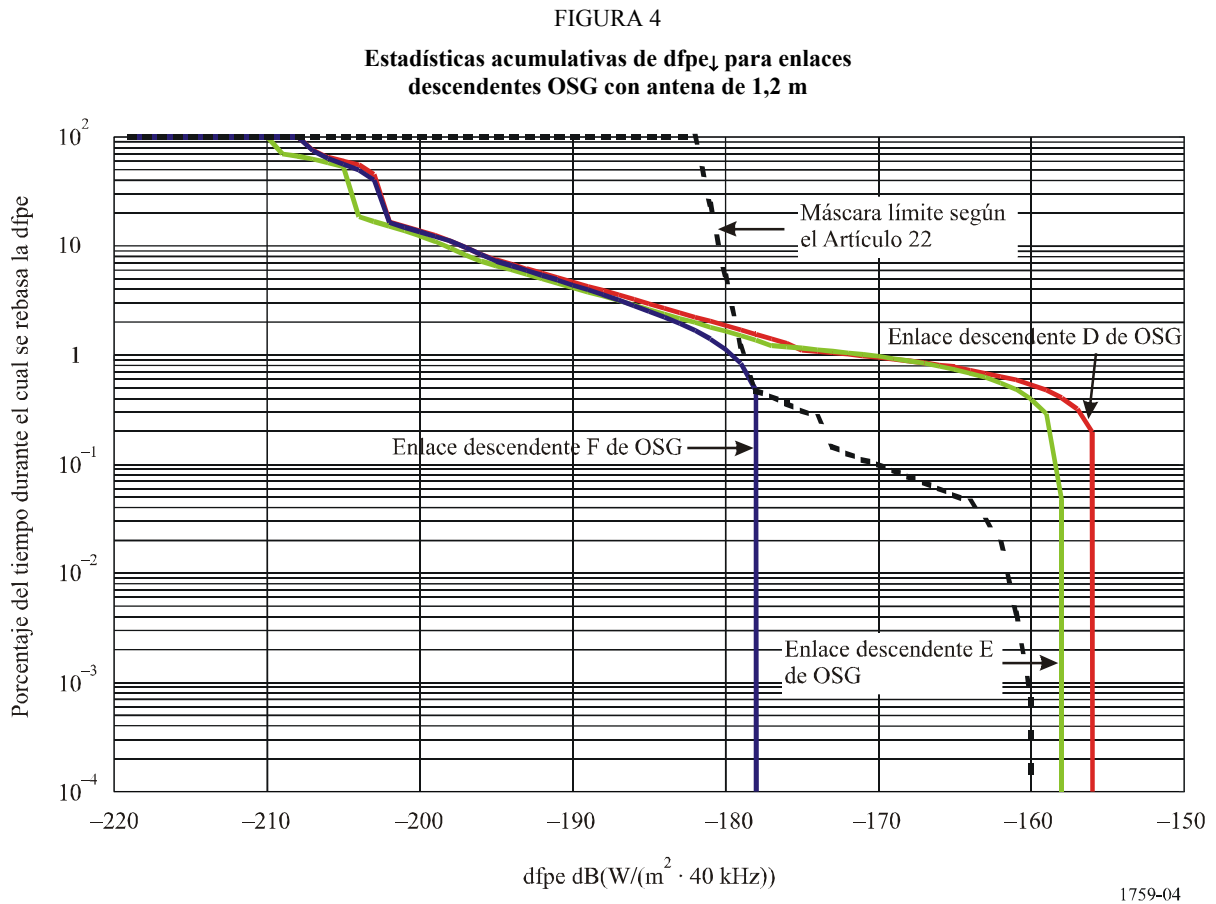
Los efectos de la portadora de telemida se describen en la Fig. 3 y se cuantifican en la Fig. 4 y en el Apéndice 1 al Anexo 1 (véase la Fig. 5 y el Cuadro 1), resumiéndose como sigue:

Las máscaras límite de $dfpe_{\downarrow}$ serían rebasadas en ciertas subbandas de 40 kHz dentro de una anchura de banda general de unos 2,6 MHz. Sólo se verían afectados los enlaces descendentes de los satélites OSG en longitudes que se encuentran dentro de dos intervalos de 4,6° y que suponen aproximadamente el 9% de los segmentos orbitales disponibles. En estos casos, la máscara límite de $dfpe_{\downarrow}$ para antenas de 1,2 m sólo sería rebasada durante dos periodos de hasta 16,5 min por periodo orbital, abarcando un máximo del 2,3% del tiempo. En los casos más desfavorables el máximo nivel de $dfpe_{\downarrow}$ en la máscara límite (es decir, el extremo de corto plazo) sería rebasado en varios dB, y la porción a mediano plazo de la máscara sería rebasada en 10-20 dB. Aunque se vea limitada la

proporción de estaciones terrenas cuyos enlaces descendentes se verían afectados, dichas estaciones terrenas podrían estar en cualquier emplazamiento geográfico de la región.

FIGURA 3
Posiciones orbitales OSG y emplazamientos de las estaciones terrenas para el análisis de la dfpe del enlace descendente





4 Técnicas para la reducción de las posibles interferencias

En los dos puntos que siguen se presentan técnicas que reducen de forma parcial o total la posible interferencia causada por las transmisiones de los enlaces ascendente y descendente STT de HEO a redes OSG. Para cada una de las técnicas estudiadas se indica:

- a) cómo podría implementarse cada una de las técnicas;
- b) las posibles ventajas de cada una de las técnicas para los operadores de los satélites HEO; y
- c) las posibles dificultades y desventajas inherentes a la implementación de cada una de las técnicas para los operadores de satélites HEO.

Durante el diseño de un sistema STT de HEO, los operadores de satélites HEO podrían optar por implementar una o más de las técnicas de reducción de la interferencia que se han identificado, teniendo en cuenta sus ventajas e inconvenientes, incluidas las dificultades inherentes al diseño para mantener la fiabilidad y reducir el coste de cada una de ellas.

4.1 Posibilidades en el enlace ascendente

4.1.1 Demora en las señales de telemando: Se podría evitar la interferencia si fuera posible transmitir a los satélites HEO señales de telemando que no sean de emergencia en horas del día no incluidas en los periodos críticos que se dan como ejemplo en la Fig. 1. Si fuera necesario ejecutar una función dentro de un satélite durante un periodo crítico, podría considerarse la posibilidad de enviar la orden antes del periodo crítico asignando a su ejecución un retardo adecuado.

4.1.1.1 Implementación

- Los sistemas de STT actuales incluyen habitualmente una función de software que controla el instante en que se ejecutan los telemandos enviados por el enlace ascendente a fin de flexibilizar las operaciones del satélite. Por lo tanto, la técnica de reducción de la interferencia antes mencionada sería fácil de implementar utilizando adecuadamente esta función de software.
- Si es necesario activar ciertas instrucciones durante un periodo crítico, podrían enviarse por el enlace ascendente antes de dicho periodo crítico, almacenarse en el satélite y ejecutarse en el momento adecuado.

4.1.1.2 Ventajas

- Tomando en cuenta que la técnica de reducción de la interferencia mencionada utiliza una capacidad que ya está habitualmente incluida en las implementaciones modernas de STT, los satélites HEO y sus estaciones terrenas de STT no necesitarían equipo adicional alguno ni nuevas funcionalidades de software.
- Esta técnica, por sí misma, constituye un medio sencillo para lograr que los enlaces de telemando en HEO cumplan totalmente con los límites de $dfpe_{\uparrow}$ del Artículo 22 del RR.

4.1.1.3 Inconvenientes

- El periodo crítico incluye el nodo ascendente y el nodo descendente de la órbita HEO, que son las posiciones orbitales óptimas para efectuar las maniobras de mantenimiento en posición. Estas maniobras exigen por lo general una secuencia interactiva en tiempo real de las señales de telemando transmitidas por el enlace ascendente e información de telemada y del estado del satélite transmitida por el enlace descendente. Antes de activar los propulsores del satélite, normalmente es necesario verificar la información de telemada en tiempo real en la estación terrena de STT. El resultado de esto es que las maniobras de mantenimiento en posición deberían realizarse cuando el satélite está alejado varios grados orbitales de la posición óptima. Esta restricción operativa exigiría un consumo adicional de combustible, con el consiguiente incremento en la masa de los satélites HEO.

4.1.2 Espectro ensanchado para las señales de telemando: En principio, sería posible reducir los niveles de $dfpe_{\uparrow}$ agregando modulación de espectro ensanchado a las portadoras de telemando de los sistemas HEO. Reducir la máxima $dfpe_{\uparrow}$ de la Fig. 2 hasta el límite reglamentario exigiría un ensanchamiento de unos 45 dB.

4.1.2.1 Implementación

- Esta técnica de reducción de la interferencia podría implementarse añadiendo un modulador de espectro ensanchado a las estaciones terrenas de STT y un demodulador de espectro ensanchado a cada satélite HEO.
- El uso eficaz de la técnica de modulación de espectro ensanchado exige que esta modulación se utilice únicamente fuera del arco activo, a fin de no interferir con los enlaces de servicio del sistema HEO. El empleo de la técnica de modulación de espectro ensanchado podría, además, limitarse al uso exclusivo durante los periodos críticos. Cuando el satélite HEO sale del arco activo (o se acerca a un periodo crítico) de su órbita, una estación terrena de STT le enviaría las instrucciones correspondientes para conmutar a la demodulación de espectro ensanchado. Cuando el satélite se acerque al arco activo (o pase más allá de un periodo crítico), una estación de STT le enviaría las instrucciones correspondientes para volver a conmutar a la modulación convencional. Con esta operación de conmutación sólo sería necesario ampliar la anchura de banda de la modulación de espectro ensanchado dentro de la banda utilizada para enlaces de servicio en aquellos

periodos durante los cuales el satélite está fuera del arco activo. Esta ampliación de la banda de espectro ensanchado abre la posibilidad de reducir la $dfpe_{\uparrow}$. En el caso del sistema HEO del ejemplo, podría reducirse la $dfpe_{\uparrow}$ en 32 dB utilizando 60 MHz de anchura de banda por portadora de telemando. Si la aplicación de esta técnica no es suficiente para cumplir con el límite de $dfpe_{\uparrow}$ establecido por el Artículo 22 del RR, sería preciso utilizar técnicas adicionales de reducción de la interferencia.

4.1.2.2 Ventajas

- La técnica descrita de ampliación de la banda de espectro ensanchado permitiría utilizar de forma efectiva la anchura de banda de los enlaces de servicio ascendentes, que habitualmente no se emplea fuera del arco activo, para reducir la $dfpe_{\uparrow}$.

4.1.2.3 Inconvenientes

- Aunque el uso de la modulación de espectro ensanchado para STT no es una técnica novedosa, no es muy corriente en la actualidad. Por lo tanto, la aplicación de esta técnica exigiría desarrollar nuevos equipos de espectro ensanchado para satélites HEO y estaciones terrenas de STT.

4.1.3 Diversidad de estaciones terrenas: En principio, los niveles de cresta de $dfpe_{\uparrow}$ podrían reducirse utilizando diversidad de estaciones terrenas de STT. Sin embargo, en el sistema HEO tomado como ejemplo se observó que aunque la óptima temporización de la transferencia entre dos estaciones terrenas de STT separadas más de 8 000 km entre sí reduciría el nivel máximo de $dfpe_{\uparrow}$ en unos 15 dB, se seguiría rebasando el límite muchos dB.

4.1.3.1 Implementación

- Esta técnica de reducción de la interferencia exigiría ubicar estaciones terrenas de STT en dos o más posiciones suficientemente distantes entre sí. Para mantener un ángulo de separación suficiente con las redes OSG, debería realizarse la transferencia de estación según la ubicación de los satélites.

4.1.3.2 Ventajas

- Este método podría reducir el nivel máximo de $dfpe_{\uparrow}$ y, si se utiliza conjuntamente con otras técnicas de reducción de la interferencia, podría ayudar a un sistema HEO a cumplir con el límite de $dfpe_{\uparrow}$.

4.1.3.3 Inconvenientes

- Aunque resulta eficaz para los sistemas de satélites LEO, cuya geometría les permite mantener fácilmente un ángulo de separación suficiente con las redes OSG, la geometría de los sistemas HEO no les permite generalmente lograr una gran separación angular con respecto a la OSG durante los periodos en los cuales las portadoras de telemando rebasarían el límite de $dfpe_{\uparrow}$. Por lo tanto, la eficacia de este método para los sistemas HEO es limitada.
- Se necesitan una o más estaciones terrenas de STT con una amplia separación geográfica (entre las cuales debe establecerse un enlace de comunicaciones terrenal fiable), y no todos los sistemas HEO cuentan con esta característica.

4.1.4 Antena receptora señales de telemando de elevada ganancia: En el sistema HEO dado como ejemplo, las portadoras de telemando se recibirían a través de un haz de satélite amplio (ganancia de cresta de 16 dBi). Si los enlaces ascendentes de servicio de dicho sistema fueran recibidos a través de un haz de mayor ganancia (por ejemplo, una ganancia de cresta de 30 dBi), podría considerarse la posibilidad de transferir la recepción de las señales de telemando a dicho haz

para así poder reducir la p.i.r.e. de la estación terrena de STT (por ejemplo, en 14 dBi), lo cual a su vez haría disminuir el nivel máximo de $dfpe_{\uparrow}$ en igual cantidad. Sin embargo, esto exige el control del haz de gran ganancia aun fuera del arco activo y ello podría complicar el diseño del satélite.

4.1.4.1 Implementación

- Se podría llevar a la práctica esta técnica de reducción de la interferencia incluyendo una o más antenas receptoras de STT de elevada ganancia, con haz orientable, en los satélites HEO. Estas antenas a bordo realizarían un seguimiento continuo de las estaciones terrenas de STT. Los satélites HEO contarían con lo necesario para transferir las estaciones STT utilizando un método de transferencia de haz.

4.1.4.2 Ventajas

- No se necesitaría equipo adicional alguno para las estaciones terrenas de STT. Simultáneamente se podría reducir la ganancia necesaria de las estaciones terrenas de STT.

4.1.4.3 Inconvenientes

- La antena receptora de STT del satélite debería ser una antena de gran apertura, con una función de seguimiento de alta precisión capaz de abarcar un gran ángulo de orientación.

4.1.5 Utilización de las bandas del SOE para señales de telemando: Si las transmisiones de STT del sistema HEO previamente mencionado utilizaran las bandas de frecuencias atribuidas al SOE en lugar de las bandas de frecuencias previamente mencionadas, se eliminaría el problema del incumplimiento del Artículo 22 del RR. Aunque con ello se solventaría el problema relativo a los límites de $dfpe$ del Artículo 22 del RR, ya que no se aplican a las bandas del SOE, seguiría produciéndose el fenómeno de interferencia física en la banda del SOE.

4.1.5.1 Implementación

- Esta técnica de reducción de la interferencia podría ponerse en práctica instalando equipos de RF independientes (antena, amplificador de alta potencia/amplificador de potencia de estado sólido, amplificador de bajo nivel de ruido, conversor, etc.) para el sistema STT (en satélites y en estaciones terrenas) utilizando una banda de frecuencias distinta a la de los enlaces de servicio.

4.1.5.2 Ventajas

- Las operaciones de STT del sistema HEO no se verían restringidas por los límites de $dfpe$ del Artículo 22 del RR.
- Tomando en cuenta que las bandas atribuidas al SOE están en la banda S o en bandas de frecuencia inferiores, sería más fácil mantener un suficiente margen de enlace de STT.

4.1.5.3 Inconvenientes

- Como cada anchura de banda atribuida al SOE es más estrecha que las bandas sujetas a límites de $dfpe$, resultaría difícil compartir estas bandas de frecuencia con otros sistemas.
- Las operaciones de STT en los satélites y en las estaciones terrenas no podrían compartir los equipos de RF utilizados para los enlaces de servicio.

4.1.6 Selección de frecuencia de las señales de telemando: Teniendo en cuenta que los enlaces ascendentes de STT de cada sistema de satélites sólo ocupan unos pocos MHz de anchura de banda, se reduciría el problema si las portadoras de telemando de todos los sistemas no OSG pudieran incluirse en la misma gama de frecuencias de unos pocos MHz.

4.1.6.1 Implementación

- En la medida de lo posible, las frecuencias de telemando seleccionadas deben caer fuera de las anchuras de banda de los transpondedores y de las anchuras de banda de las frecuencias de STT de los satélites OSG cerca de las longitudes de cruce del ecuador de sistemas HEO.

4.1.6.2 Ventajas

- En comparación con los sistemas OSG existentes cuando se registró el sistema HEO, esta opción es más sencilla.

4.1.6.3 Inconvenientes

- Considerando que los sistemas HEO son sistemas no OSG, el actual RR no permite utilizar este método para resolver el problema en las bandas a las cuales se aplican los límites de df_{pe} del Artículo 22 del RR. Por lo tanto, en dichas bandas este método sólo podría limitar el alcance del problema.
- Es posible que la IFIC no contenga información completa sobre las frecuencias de las señales de telemando utilizadas por las redes OSG posiblemente afectadas.

4.1.7 Enlaces entre satélites: Si se implementan enlaces entre satélites en un sistema HEO, o entre dichos satélites y un sistema de satélites de retransmisión de datos, se podrán transmitir señales de telemando a un satélite HEO que esté en el arco activo o cerca del mismo, o a un satélite de retransmisión de datos y posteriormente, a través de los enlaces entre satélites, retransmitirlas a otros satélites.

4.1.7.1 Implementación

- Esta técnica podría ser implementada por medio de equipos adicionales en cada satélite HEO para los enlaces de STT entre satélites.

4.1.7.2 Ventajas

- Sería posible controlar todos los satélites en todo momento desde las estaciones terrenas primarias de STT, sin peligro de que apareciesen interferencias en los enlaces ascendentes de las redes OSG.
- Efecto adverso mínimo sobre las estaciones terrenas de STT; no son necesarias las estaciones terrenas remotas de STT.

4.1.7.3 Inconvenientes

- Los satélites deberían ir cargados con equipos adicionales para el enlace entre satélites y para el control de la adquisición y seguimiento de una antena de enlace entre satélites.
- Los satélites necesitarían un método de STT de reserva para el caso de producirse un fallo del enlace entre satélites.
- Es posible que esta técnica plantee dificultades de diseño adicionales, ya que el sistema HEO tendría que evitar la posibilidad de interferir a las redes OSG por la geometría del enlace entre satélites del sistema HEO.

4.2 Posibilidades en el enlace descendente

4.2.1 Demora en las señales de telemada: El problema se eliminaría si fuera posible interrumpir la transmisión de la portadora de telemada desde cada satélite HEO durante los periodos críticos (por ejemplo, durante dos periodos de 22 min al día, como en la Fig. 3). En caso de llevarse a la práctica esta solución, si se produce un fallo en el satélite durante uno de los periodos críticos, el personal de la estación terrenal de STT no sería consciente de ello hasta reanudarse la transmisión de la portadora de telemada.

En el Apéndice 1 al Anexo 1 se indica un método iterativo que se puede utilizar para determinar el periodo mínimo de desactivación de la telemida en un sistema HEO. Ello incluye hallar los instantes y los lugares de órbita precisos en los cuales se desactiva (y se activa) la portadora de telemida de un determinado satélite HEO a fin de cumplir con el límite de $df_{pe\downarrow}$ pertinente.

4.2.1.1 Implementación

- Los sistemas actuales de STT contienen generalmente una función de software que permite controlar las transmisiones de telemida por el enlace descendente, a fin de flexibilizar las operaciones del satélite. Por lo tanto, la anterior técnica de reducción de la interferencia sería fácil de implementar utilizando correctamente dicha función de software para ordenar al satélite que interrumpa sus transmisiones de telemida durante el periodo crítico y que reanude dichas transmisiones una vez finalizados los periodos críticos.
- Durante los periodos críticos, la posición y la actitud del satélite se determinarán en las estaciones terrenas de STT usando algoritmos de predicción de órbitas.

4.2.1.2 Ventajas

- Esta técnica no exige equipos adicionales para los satélites HEO o las estaciones terrenas de STT.
- Esta técnica, por sí misma, constituye un medio sencillo para lograr que los enlaces de telemida de los sistemas HEO cumplan plenamente con los límites de $df_{pe\downarrow}$ del Artículo 22 del RR.

4.2.1.3 Inconvenientes

- Las estaciones terrenas de STT no dispondrían de la información de telemida en los periodos durante los cuales, de otra manera, se rebasaría el contorno permitido de $df_{pe\downarrow}$. Estos periodos comprenden el nodo ascendente y el nodo descendente de la órbita HEO, que son las posiciones orbitales óptimas para efectuar las maniobras de mantenimiento en posición. Estas maniobras exigen por lo general una secuencia interactiva en tiempo real de las señales de telemando transmitidas por el enlace ascendente e información de telemida y del estado del satélite transmitida por el enlace descendente. Antes de activar los propulsores del satélite, normalmente es necesario verificar la información de telemida en tiempo real en la estación terrena de STT. El resultado de esto es que las maniobras de mantenimiento en posición deberían realizarse cuando el satélite está alejado varios grados orbitales de la posición óptima. Esta restricción operativa exigiría un consumo adicional de combustible, con el consiguiente incremento en la masa de los satélites HEO.
- En caso de producirse algún fallo en el sistema de control de actitud del satélite HEO, o cualquier otro problema que afecte la órbita del satélite durante un periodo de desactivación, el operador del satélite no recibirá información fiable sobre el problema durante cierto tiempo por haberse interrumpido las transmisiones de telemida y ello podría menoscabar las posibilidades que tiene el operador del satélite de adoptar medidas paliativas.
- Interrumpir las señales de telemida supone una disminución significativa de la disponibilidad operacional. Según la Recomendación UIT-R S.1716, la disponibilidad típica de los enlaces descendentes de telemida en la banda de 14/12 GHz es del orden del 99,99%, lo que significa una indisponibilidad del 0,01%. En el caso del sistema HEO que nos sirve de ejemplo, la indisponibilidad causada por la interrupción de la telemida es del 3,1% ($(22 \text{ min} \times 2)/24 \text{ h} \times 100$), además de la indisponibilidad debida a la atenuación causada por lluvia, etc., que es más de 300 veces peor que el valor típico recomendado en la citada Recomendación UIT-R S.1716.

4.2.2 Espectro ensanchado para las señales de telemidida: En principio, sería posible reducir las estadísticas de $df_{pe\downarrow}$ añadiendo modulación de espectro ensanchado a las portadoras de telemidida de los sistemas HEO. Tomando los ejemplos de resultados de la Fig. 4, se necesitarían unos 20 dB de ensanchamiento para cumplir plenamente con la máscara límite en el caso más desfavorable, lo cual exigiría unos 4 MHz de anchura de banda para cada portadora de telemidida. Otra posibilidad sería agregar ensanchamiento justo dentro de la anchura de banda de la portadora asignada; en el ejemplo presente serían 605 kHz, que permitirían un ensanchamiento de aproximadamente 12 dB.

4.2.2.1 Implementación

- Esta técnica de reducción de la interferencia podría implementarse añadiendo un demodulador de espectro ensanchado a las estaciones terrenas de STT y un modulador de espectro ensanchado a cada satélite HEO.
- El uso eficaz de la técnica de modulación de espectro ensanchado exige que esta modulación sólo se utilice durante los periodos en los cuales, de no utilizarse, los niveles de $df_{pe\downarrow}$ serían críticos. Cuando el satélite HEO se acerca a un periodo crítico de su órbita, una estación terrena de STT enviaría instrucciones para pasar a modulación de espectro ensanchado; cuando el satélite sale del periodo crítico, una estación de STT enviaría entonces instrucciones para volver a la modulación convencional. Con esta operación de conmutación sólo se haría necesario ampliar la modulación de espectro ensanchado dentro de la banda utilizada para enlaces de servicio en aquellos periodos durante los cuales el satélite está fuera del arco activo. Esta ampliación de la banda de espectro ensanchado abre la posibilidad de reducir la $df_{pe\downarrow}$. En el caso del sistema HEO del ejemplo, podría reducirse la $df_{pe\downarrow}$ en 20 dB utilizando 4 MHz de anchura de banda.

4.2.2.2 Ventajas

- La técnica descrita de ampliación de la banda de espectro ensanchado permitiría utilizar de forma efectiva la anchura de banda de los enlaces de servicio descendentes, que habitualmente no se emplea fuera del arco activo. Con esta técnica se satisfacerían las máscaras de límites de $df_{pe\downarrow}$ sin necesidad de aplicar técnicas adicionales de reducción de la interferencia.

4.2.2.3 Inconvenientes

- Aunque el uso de la modulación de espectro ensanchado para STT no es una técnica novedosa, no es muy corriente en la actualidad. Por lo tanto, la aplicación de esta técnica exigiría desarrollar nuevos equipos de espectro ensanchado para satélites HEO y estaciones terrenas de STT.

4.2.3 Antena transmisora de señales de telemidida de elevada ganancia: En el sistema HEO dado como ejemplo, cada portadora de telemidida sería transmitida por un haz de satélite amplio (30° de anchura de haz). Si los enlaces descendentes de servicio de dicho sistema se transmitieran a través de un haz de ganancia más elevada (por ejemplo, con anchura de haz de 6°), se consideraría la posibilidad de transferir las señales de telemidida a dicho haz para que el límite de $df_{pe\downarrow}$ fuese rebasado en una menor extensión geográfica. En el sistema del ejemplo, esto sería posible sólo si ambas estaciones terrenas de STT estuvieran cubiertas por el haz (o los haces) de mayor ganancia. Sin embargo, esto exige el control del haz de gran ganancia aun fuera del arco activo y ello podría complicar el diseño técnico de los satélites.

4.2.3.1 Implementación

- Se podría llevar a la práctica esta técnica de reducción de la interferencia incluyendo unas antenas transmisoras de STT de elevada ganancia, con haz orientable, en cada uno de los satélites HEO. Estas antenas a bordo serían utilizadas para realizar transmisiones de servicio por el enlace descendente durante la parte de arco activo de la órbita HEO. Se podrían utilizar para transmisiones de teledidada por enlace descendente durante los periodos críticos, durante los cuales efectuarían un seguimiento continuo de las estaciones terrenas de STT.

4.2.3.2 Ventajas

- Cualquier exceso de dfpe_d por encima del límite se vería restringido a un área geográfica inferior, con lo cual se reduciría el número de estaciones terrenas de OSG potencialmente afectadas.
- No se necesita equipo adicional para las estaciones terrenas de STT.
- La potencia de transmisión del satélite se reduciría, gracias a la mayor ganancia de la antena, ahorrando consumo de energía a bordo.

4.2.3.3 Inconvenientes

- La antena transmisora de alta ganancia del satélite debería ser una antena de gran apertura, con una función de seguimiento de alta precisión capaz de abarcar un ángulo de orientación bastante amplio.
- Aun si el diseño del satélite HEO ya contempla un haz de elevada ganancia para los enlaces descendentes de servicio, esta técnica exige controlar dicho haz de elevada ganancia aun fuera del arco activo y ello puede complicar el diseño técnico de los satélites.

4.2.4 Utilización de las bandas del SOE para señales de teledidada: Si las transmisiones de STT del sistema HEO previamente mencionado utilizaran las bandas de frecuencias atribuidas al SOE en lugar de las bandas de frecuencias previamente mencionadas, se eliminaría el problema del incumplimiento del Artículo 22 del RR. Aunque con ello se solventaría el problema relativo a los límites de dfpe del Artículo 22 del RR, ya que no se aplican a las bandas del SOE, seguiría produciéndose el fenómeno de interferencia física en la banda del SOE.

4.2.4.1 Implementación

- Esta técnica de reducción de la interferencia podría ponerse en práctica instalando equipos de RF independientes (antena, amplificador de alta potencia/amplificador de potencia de estado sólido, amplificador de bajo nivel de ruido, conversor, etc.) para el sistema de teledidada (en satélites y en estaciones terrenas) utilizando una banda de frecuencias distinta a la de los enlaces de servicio.

4.2.4.2 Ventajas

- Las operaciones del enlace descendente de STT del sistema HEO no se verían restringidas por los límites de dfpe del Artículo 22 del RR.
- Tomando en cuenta que las bandas atribuidas al SOE están en la banda S o en bandas de frecuencias inferiores, sería más fácil mantener un suficiente margen de enlace de TTC.

4.2.4.3 Inconvenientes

- Como cada anchura de banda atribuida al SOE es más estrecha que las bandas sujetas a límites de dfpe, resultaría difícil compartir estas bandas de frecuencias con otros sistemas.
- Las operaciones de STT en los satélites y en las estaciones terrenas no podrían compartir los equipos de RF utilizados para los enlaces de servicio.

4.2.5 Selección de frecuencia de las señales de teledifusión: Teniendo en cuenta que los enlaces descendentes de STT de cada sistema de satélites sólo ocupan unos pocos MHz de anchura de banda, se reduciría el problema si las portadoras de teledifusión de todos los sistemas no OSG pudieran incluirse en la misma gama de frecuencias de unos pocos MHz.

4.2.5.1 Implementación

- En la medida de lo posible, las frecuencias de teledifusión seleccionadas deben caer fuera de las anchuras de banda de los transpondedores y de las anchuras de banda de las frecuencias de STT de los satélites OSG cerca de las longitudes de cruce del ecuador de sistemas HEO.

4.2.5.2 Ventajas

- En comparación con los sistemas OSG existentes cuando se registró el sistema HEO, esta opción es más sencilla.

4.2.5.3 Inconvenientes

- Considerando que los sistemas HEO son sistemas no OSG, el actual Reglamento de Radiocomunicaciones no permite utilizar este método para resolver el problema en las bandas a las cuales se aplican los límites de df_{pe} del Artículo 22. Por lo tanto, en dichas bandas este método sólo podría limitar el alcance del problema. El RR actual no permite que los enlaces descendentes de STT en los sistemas HEO rebasen los límites de df_{pe} del Artículo 22 del RR, con la posible excepción admitida por el número 22.5CA: «**22.5CA 2) Los límites de los Cuadros 22-1A a 22-1E se pueden rebasar en el territorio de cualquier país cuya administración esté de acuerdo (véase también la Resolución 140 (CMR-03))**». Sin embargo, considerando que el enlace descendente de STT del sistema HEO del ejemplo utiliza un haz de cobertura hemisférica, cabe señalar que el número total de países que deberían prestar su acuerdo podría ser muy elevado.
- Es posible que la IFIC no contenga información completa sobre las frecuencias de las señales de teledifusión utilizadas por las redes OSG posiblemente afectadas.

4.2.6 Enlaces entre satélites: Si se implementan enlaces entre satélites en un sistema HEO, o entre dichos satélites y un sistema de satélites de retransmisión de datos, se podrán transmitir señales de teledifusión por enlace entre satélites a un satélite HEO que esté en el arco activo o cerca del mismo, o a un satélite de retransmisión de datos, y desde allí a la Tierra.

4.2.6.1 Implementación

- Esta técnica podría ser implementada por medio de equipos adicionales en cada satélite para los enlaces de STT entre satélites.

4.2.6.2 Ventajas

- Sería posible transmitir señales de teledifusión desde todos los satélites en cualquier momento a las estaciones terrenas primarias de STT, sin peligro de que apareciesen interferencias en los enlaces descendentes de las redes OSG.
- Efecto adverso mínimo sobre las estaciones terrenas de STT; no son necesarias las estaciones terrenas remotas de STT.

4.2.6.3 Inconvenientes

- Los satélites deberían ir cargados con equipos adicionales para el enlace entre satélites y para el control de adquisición y seguimiento de una antena de enlace entre satélites.
- Los satélites necesitarían un método de STT de reserva para el caso de producirse un fallo del enlace entre satélites.

- Es posible que esta técnica plantee dificultades de diseño adicionales, ya que el sistema HEO tendría que evitar la posibilidad de interferir a las redes OSG debido a la geometría del enlace entre satélites del sistema HEO.

El número 22.5CA del RR, adoptado por la CMR-2000 y modificado por la CMR-03, dice: «Los límites (de $dfpe_{\downarrow}$) de los Cuadros 22-1A a 22-1E se pueden rebasar en el territorio de cualquier país cuya administración esté de acuerdo». Esto lleva a que las soluciones al problema del enlace descendente deban buscarse a través de un acuerdo previo entre la administración que desea utilizar portadoras de teledifusión originadas en satélites HEO en una banda del SFS, sujeta a los límites de $dfpe_{\downarrow}$, y las administraciones de cada uno de los países abarcados por el haz sobre el cual se transmiten las portadoras de teledifusión. Sin embargo, este procedimiento podría llevar un tiempo considerable (que demorarían las administraciones involucradas en llegar a un acuerdo). Por lo tanto, sería preferible analizar en primer lugar las posibilidades antes indicadas.

Estas posibilidades podrían tomarse en cuenta, a discreción de las partes involucradas, en cualquier reunión bilateral sujeta a lo dispuesto en el número 22.5CA del RR.

5 Conclusión

Las anteriores consideraciones muestran que existen varias posibilidades para superar las dificultades de la explotación de enlaces de STT en los sistemas HEO que operan en las bandas sujetas a los límites de $dfpe$ del Artículo 22 del RR, prestando al mismo tiempo la protección adecuada a los sistemas OSG que funcionan en estas bandas. Se señala que estas técnicas podrían también resultar útiles en otras bandas del SFS, compartidas entre redes no OSG y redes OSG. Se necesitarán más estudios para determinar cuál de estas técnicas potenciales de reducción de la interferencia será la más adecuada para un sistema HEO específico.

Apéndice 1 al Anexo 1

Metodología para determinar los periodos mínimos de interrupción de la portadora de teledifusión de un satélite HEO necesarios para cumplir con los límites de $dfpe_{\downarrow}$ del Artículo 22 del RR

A continuación se describe un método iterativo que puede utilizarse para determinar los instantes y las latitudes precisos en los cuales se desactiva (y se activa) la portadora de teledifusión de un determinado satélite HEO a fin de cumplir con los límites pertinentes de $dfpe_{\downarrow}$.

Como se explica en el § 4.2.1 del Anexo 1, puede evitarse rebasar los límites de $dfpe_{\downarrow}$ indicados en el Artículo 22 del RR para un tamaño dado de antena de estación terrena OSG en determinada banda de frecuencias, interrumpiendo la transmisión de cada una de las portadoras de teledifusión durante un periodo de tiempo en torno a cada uno de los instantes en que su satélite cruza el plano ecuatorial. La duración mínima del periodo y los instantes precisos en que se desactiva y se reactiva el haz para cumplir ajustadamente con la máscara límite de $dfpe_{\downarrow}$ en cuestión, dependerán de las características orbitales del sistema HEO y de las características de transmisión de sus portadoras de teledifusión.

Suponiendo que, para el sistema de ejemplo descrito en el § 2 del Anexo 1 (N-SAT-HEO2), cada satélite HEO del sistema tiene su propia frecuencia de portadora de teledifusión y además todas las portadoras de teledifusión tienen parámetros de transmisión idénticos, sólo falta determinar la duración del mínimo periodo de interrupción para un satélite. Este periodo será el mismo para todos los demás satélites del sistema, y los instantes precisos de desactivación y de activación diferirán sencillamente en los intervalos que determinan las características de la órbita y el número de satélites que siguen la misma traza sobre la superficie de la Tierra.

Tomando como ejemplo a N-SAT-HEO2, puede crearse una simulación informática que constituya un modelo de hipótesis de caso más desfavorable según se muestra en la Fig. 3 del Anexo, y utilizarla para calcular el nivel de $dfpe_{\downarrow}$ en una antena terrena de referencia (por ejemplo, de 1,2 m) de estación terrena OSG en un emplazamiento de caso más desfavorable, igualmente funcionando con un satélite OSG en una longitud también de caso más desfavorable. (Tal como se explica en el Anexo, para N-SAT-HEO2 las dos situaciones de caso más desfavorable son aquellas en las que tanto el satélite OSG como su estación terrena de referencia tienen una latitud de 0° y una longitud que corresponde a uno de los cruces del ecuador del HEO, $123,7^{\circ}$ E o $146,3^{\circ}$ E.). Esta simulación informática se ejecuta para un periodo orbital completo ($86\,163\text{ s} = 1$ día sideral), calculando la $dfpe_{\downarrow}$ para cada intervalo de tiempo (con intervalos de 10 s se obtiene suficiente precisión para este ejemplo.) Luego se representan gráficamente los resultados en forma de función de distribución acumulativa (FDA) del porcentaje del tiempo en función de la $dfpe_{\downarrow}$. En el caso presente, es la curva del enlace D de la Fig. 4 del Anexo.

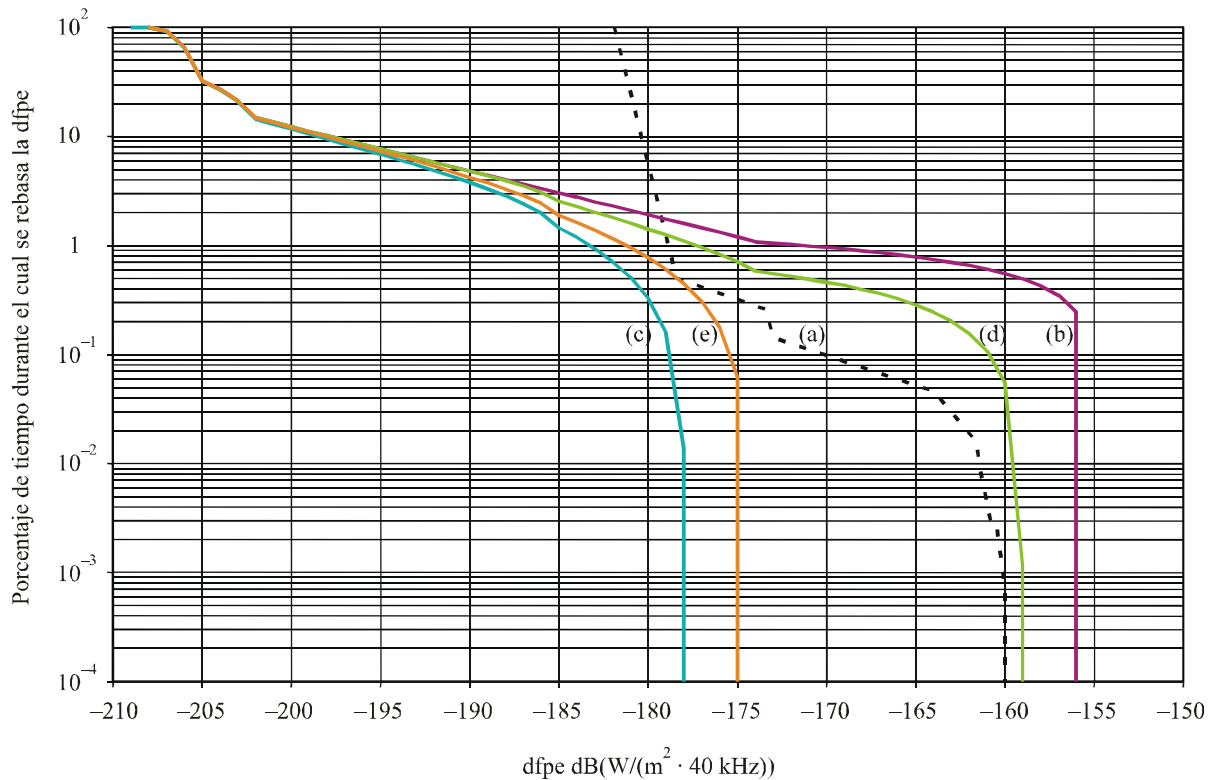
Considerando que el cruce del Ecuador a $123,7^{\circ}$ E se produce cuando el satélite (midiendo desde el perigeo) ha completado aproximadamente las tres cuartas partes del recorrido de 23 horas y 56 min de su órbita, la simulación anterior se puede volver a ejecutar con un intervalo de tiempo mayor hasta transcurridas unas 17 horas de la órbita. A partir de este punto se puede hacer avanzar la simulación usando intervalos pequeños, hasta que el nivel de la $dfpe_{\downarrow}$ alcanza el valor para el cual la curva del enlace D corta a la máscara del Artículo 22 (es decir, aproximadamente -179 dBW/m^2 por 40 kHz para este ejemplo). Puede registrarse el instante en que se produce esta «intersección con la máscara». Luego, puede continuarse la simulación con un intervalo pequeño hasta que el nivel de $dfpe_{\downarrow}$ alcance un valor de cresta cuando el satélite está directamente por encima del Ecuador, y a continuación vuelva una vez más al «valor de intersección de la máscara» del enlace D, registrándose ese instante. Posteriormente se puede interrumpir la simulación, modificándose el modelo para, de hecho, desactivar la portadora de teledifusión entre los dos instantes anotados. (En la simulación, el modelado de la desactivación de la portadora de teledifusión se puede realizar asignando un valor despreciable a la p.i.r.e. para el intervalo entre los dos instantes.) Luego, se puede ejecutar la simulación con esta modificación, convirtiendo los resultados a una FDA. Se observará que esta FDA está, en todos los puntos, muy por debajo de la máscara del Artículo 22 (véase la curva (c) de la Fig. 5).

Se puede seguir modificando el modelo, reduciendo el periodo de desactivación a aproximadamente la tercera parte del periodo del párrafo anterior pero centrado en el mismo instante, volviendo a ejecutar la simulación para obtener la correspondiente FDA. Es probable que esta función de distribución acumulativa rebese la máscara del Artículo 22 para intervalos significativos de $dfpe$ (véase la curva (d) de la Fig. 5).

Con los resultados obtenidos en los dos párrafos precedentes, se podrán estimar los instantes de desactivación y de activación aproximados que permitan obtener una FDA que cumple ajustadamente con la máscara del Artículo 22, eligiendo para ello instantes que están entre los obtenidos a partir de las curvas (c) y (d). Luego, puede ejecutarse la simulación una vez más utilizando estos instantes. Si la FDA obtenida sigue sin ser la óptima, deberá obtenerse un resultado lo suficientemente preciso con una iteración adicional del proceso.

Los pasos descritos se ejecutaron para el satélite N-SAT-HEO2 y una antena de estación terrena de OSG de 1,2 m, con una portadora de telemétrica de 12,25 GHz. En la Fig. 5 aparecen las FDA obtenidas, donde la curva (b) es la misma que la curva del enlace D en la Fig. 4 (es decir, geometría de caso más desfavorable sin desactivación de la portadora de telemétrica). Se observará que (e) es la curva óptima, ya que apenas se ciñe a la máscara límite de la $dfpe_{\downarrow}$. Aunque en este caso sólo fueron necesarias tres iteraciones para obtener la curva óptima, es poco probable que se necesiten más de cuatro o a lo sumo cinco iteraciones para cualquier otro caso práctico. Por lo tanto, tomando en cuenta los cruces del Ecuador, los periodos de desactivación del ejemplo presente serían los que aparecen en el Cuadro 1.

FIGURA 5
Estadísticas de $dfpe$ para antena de 1,2 m con distintos periodos de desactivación de portadora de telemétrica



- - - (a) Límites de $dfpe$ según Art. 22 del RR, antena OSG de 1,2 m
- (b) Sin desactivación
- (c) Desactivación desde 18 090 a 19 380 y desde 66 650 a 67 940 s
- (d) Desactivación desde 18 570 a 19 000 y desde 67 130 a 67 560 s
- (e) Desactivación desde 18 290 a 19 280 y desde 66 850 a 67 840 s

CUADRO 1

Periodos de desactivación para asegurar que las portadoras de teledifusión del sistema HEO del ejemplo cumplen ajustadamente los límites de d_{fpe} para una antena de estación terrena de un sistema OSG en la banda 12-18 GHz (banda Ku) de 1,2 m

| Satélite | Instante del perigeo (s) | Instante 1 de desactivación (s) | Instante 1 de activación (s) | Instante 2 de desactivación (s) | Instante 2 de activación (s) |
|----------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 1 | 0 | 18 290 | 19 280 | 66 850 | 67 840 |
| 2 | 28 680 | 9 370 | 10 360 | 47 000 | 47 990 |
| 3 | 57 490 | 38 180 | 39 170 | 75 810 | 76 800 |

Puede observarse en el Cuadro 1 que cada uno de los tres satélites del sistema HEO del ejemplo tendrían que desactivar la portadora durante el mismo periodo de tiempo en el entorno de sus dos cruces por órbita del plano ecuatorial a fin de ceñirse a la máscara límite de d_{fpe} . Cada periodo de desactivación dura $990 \text{ s} = 16,5 \text{ min}$, que corresponden al 1,15% del periodo orbital (un día sideral). Tomando en cuenta, para cada órbita, ambos periodos de desactivación, se obtiene una «interrupción de teledifusión» que corresponde al 2,30% de la órbita de cada satélite. Cada periodo de desactivación se produciría mientras el satélite en cuestión está en un intervalo de latitudes de aproximadamente $\pm 1,487^\circ$.

Para cada órbita sucesiva, se hallarían los instantes de desactivación y de activación por el sencillo método de sumarles $86\,163 \text{ s}$ (un día sideral).