

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1279*

COMPARTICIÓN DEL ESPECTRO ENTRE SENSORES PASIVOS A BORDO DE VEHÍCULOS ESPACIALES Y ENLACES ENTRE SATÉLITES EN LA GAMA DE 50,2-59,3 GHz

(Cuestión UIT-R 216/7)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las previsiones meteorológicas constituyen un instrumento de importancia creciente y capital para todas las actividades económicas del ser humano y desempeñan un papel predominante en la pronta identificación y alarma ante los fenómenos que pudieran representar un peligro;
- b) que la temperatura atmosférica es el dato básico que se necesita para realizar previsiones meteorológicas a escala mundial;
- c) que la banda de absorción del oxígeno, compuesta de varias rayas de absorción entre 50 y 65 GHz, representa un recurso natural único para la teledetección del perfil de temperatura en la atmósfera que no existe en otras bandas de frecuencia;
- d) que los perfiles de temperatura atmosférica relacionados con el tiempo en general sólo pueden obtenerse a escala mundial con la exactitud necesaria mediante mediciones pasivas tridimensionales por microondas desde plataformas espaciales de órbita terrestre baja (LEO), en la banda de frecuencias singular cercana a 60 GHz en la que tiene lugar la absorción por el oxígeno de la atmósfera;
- e) que dichas mediciones pasivas son sumamente vulnerables a las interferencias, ya que las variaciones naturales de la atmósfera impiden el reconocimiento y filtrado de las mediciones contaminadas con interferencias;
- f) que las mediciones contaminadas de los sensores pasivos pueden perjudicar considerablemente los estudios del clima y la calidad de los pronósticos del tiempo;
- g) que se están concibiendo redes en órbitas de satélites no geoestacionarios (no OSG) para la prestación de servicios fijos por satélite (SFS) y móviles por satélite (SMS), para los cuales se prevé el empleo de un gran número de enlaces entre satélites (EES) en frecuencias cercanas a 60 GHz;
- h) que se están concibiendo redes en OSG para la prestación de SFS y SMS, para los cuales se prevé el empleo de EES en frecuencias cercanas a 60 GHz;
- j) que la banda de frecuencias 54,25-58,2 GHz se comparte a título igualmente primario entre el servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) (pasivo), el servicio de investigación espacial (SIE) (pasivo) y el servicio entre satélites (SES);
- k) que el § 1.9.4.3 de la Resolución 718 (CMR-95) (Orden del día de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 1997) ha de considerar las «atribuciones de frecuencias existentes cerca de 60 GHz y, de ser necesario, reatribución de las mismas con miras a proteger los sistemas del servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) que funcionan en la gama única de frecuencias de absorción del oxígeno de aproximadamente 50 GHz a 70 GHz»;
- l) que la Recomendación UIT-R SA.1029 contiene criterios de protección contra interferencias para sensores pasivos en bandas cercanas a 60 GHz;
- m) que los estudios realizados en la banda 54,25-58,2 GHz han demostrado que los EES de una red no OSG pueden producir interferencias en los sensores pasivos muy superiores a los límites de los citados criterios de protección (véase el Anexo 1);
- n) que los estudios realizados en la banda 54,25-58,2 GHz han demostrado que los EES de las redes OSG pueden compartir la banda con sensores pasivos si se imponen restricciones apropiadas a la dfp producida por los satélites geoestacionarios en la altura orbital del sensor (véase el Anexo 2),

reconociendo

- a) la necesidad de proteger los sistemas existentes o previstos de los SES en la banda 56,9-57 GHz,

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones.

recomienda

- 1 que, vistos los *considerando* c) y m), los sensores pasivos y los EES de las redes no OSG funcionen en bandas separadas de la gama de 50,2-59,3 GHz;
- 2 que, visto el *considerando* n), los sensores pasivos y los EES de las redes OSG puedan compartir bandas de la gama de 50,2-59,3 GHz, a condición de que la dfp a una altura de 1 000 km o menos de la superficie de la Tierra, producida por radiaciones de la estación espacial en el SES, no sea mayor de $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$.

ANEXO 1

Resultados del estudio sobre interferencias de los satélites no OSG**1 Introducción**

El SETS cuenta con sensores pasivos a bordo de vehículos espaciales, destinados a medir la temperatura de diversas capas atmosféricas en algunos tramos de frecuencias, en las bandas de absorción del oxígeno cercanas a 60 GHz. Según la frecuencia utilizada, las mediciones en la banda de 60 GHz pueden protegerse considerablemente de las interferencias producidas por las emisiones terrenales. Las bandas de frecuencias cercanas a 60 GHz presentan interés también para los EES de un sistema de comunicaciones con satélites no OSG. Desgraciadamente, dichos EES pueden causar interferencias en las mediciones de los sensores pasivos a bordo de vehículos espaciales, sin que la absorción del oxígeno las atenúe. El Cuadro 1 estudia las órbitas de los satélites no OSG y de los satélites portadores de sensores, mientras que el Cuadro 2 analiza las características de transmisión de los satélites no OSG y de recepción de los satélites portadores de sensores utilizadas en el presente estudio. Los valores para todas las antenas se basan en la Recomendación UIT-R S.672, con una ganancia mínima de -10 dBi .

CUADRO 1

Características de las órbitas de los satélites no OSG y de los satélites con sensores

Parámetros de la órbita	Satélites no OSG	Sensores
Altura (km)	700	833
Inclinación (grados)	98,16	98,7
Periodo (min)	98,8	101,5
Excentricidad	0,0	0,0
Número de planos orbitales	21	2
Número de satélites por plano	40	1
Nodos ascendentes	Intervalos de 9,5° a partir de 0°	No se aplica

CUADRO 2

Características de los satélites no OSG y de los satélites con sensores

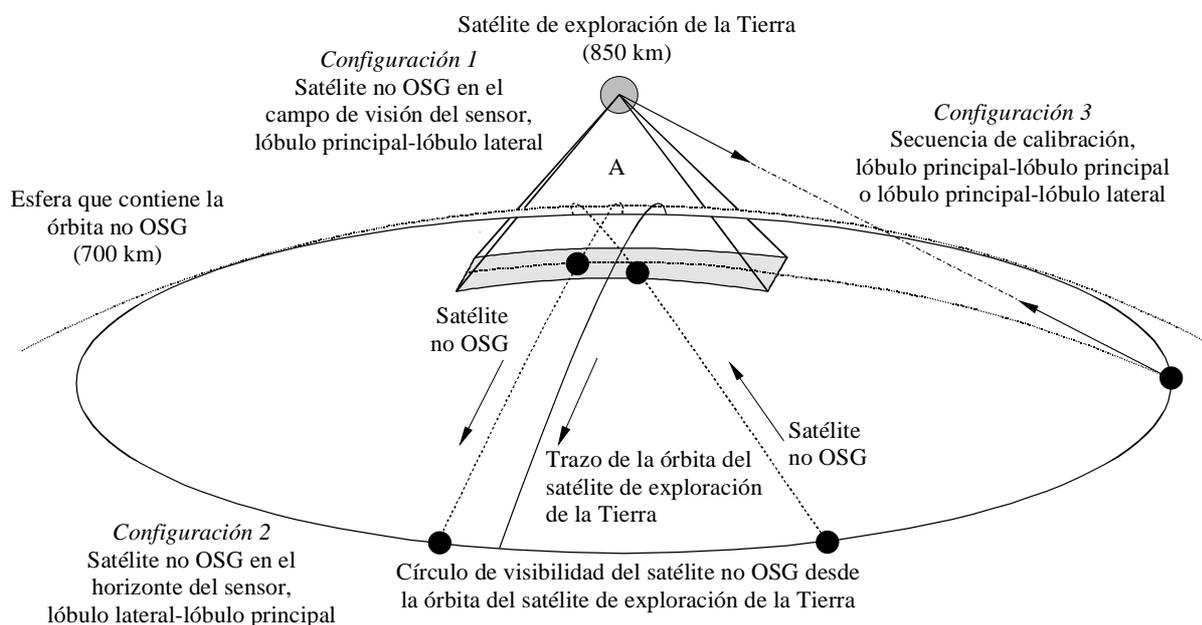
Parámetros	Satélites no OSG	Sensor de unidad avanzada de sondeo por microondas	Sensor con barrido transversal
Frecuencias de la portadora (GHz)	56 y 59	56	56
Anchura de banda por canal (MHz)	1 000	400	100
Potencia en cada banda (dBW)	7,4	No se aplica	No se aplica
Ganancia máxima de la antena (dBi)	48	36	45

2 Interferencias producidas por satélites no OSG

Con el fin de determinar si las interferencias producidas incluso por un solo satélite no OSG pueden rebasar el umbral de interferencia del sensor, se consideran tres configuraciones geométricas fijas. La Fig. 1 ilustra dichas configuraciones.

- Configuración 1:* El posible trayecto de la interferencia puede unir los lóbulos principales de la antena del sensor con los lóbulos laterales de la antena de uno o varios transmisores entre satélites.
- Configuración 2:* El trayecto de interferencia puede unir los lóbulos laterales de la antena del sensor con el lóbulo principal de la antena de uno o varios transmisores entre satélites.
- Configuración 3:* En el curso de la «calibración en el espacio frío», son posibles trayectos de interferencia entre el lóbulo principal y el lóbulo distante y entre los lóbulos principales entre sí, así como varias combinaciones intermedias.

FIGURA 1
Configuraciones geométricas de visibilidades mutuas entre un satélite de exploración de la Tierra y satélites no OSG



A: campo de visión ($\pm 50^\circ$ relativo al nadir)

1279-01

El Cuadro 3 presenta los resultados de la evaluación estática para las tres configuraciones considerando la existencia de un sensor con barrido transversal. La importancia de las posiciones relativas de la órbita del satélite de exploración de la Tierra y los nodos ascendentes de un satélite no OSG interferente queda ilustrada por las grandes variaciones que se producen en la duración de la interferencia y de los intervalos entre dos episodios de interferencia. Las duraciones e intervalos más breves corresponden al caso en que los nodos ascendentes de ambos sistemas tienen una separación de aproximadamente 180° . La Recomendación UIT-R SA.1029 menciona un umbral de interferencia de $-166 \text{ dB(W/100 MHz)}$ para un sensor con barrido transversal. Tal es el umbral de interferencia utilizado en el Cuadro 3.

3 Estadística de las interferencias

Se utilizó una simulación por computador para establecer la interacción dinámica entre la constelación de satélites no OSG y el sensor a bordo de un vehículo espacial, con objeto de determinar la asiduidad y la magnitud de los rebasamientos del umbral de interferencia del sensor. En lugar de considerar un sensor con barrido transversal, la simulación se ha efectuado para interferencias en un sensor de unidad avanzada de sondeo por microondas (AMSU – advanced microwave sounding unit), porque es menos probable que la compartición del espectro sea factible para los sensores con barrido transversal que para los sensores AMSU.

Se parte del supuesto de que todos los EES no OSG transmiten en forma continua y que el sensor efectúa las mediciones todo el tiempo. Los resultados del análisis dinámico se resumen en la Fig. 2.

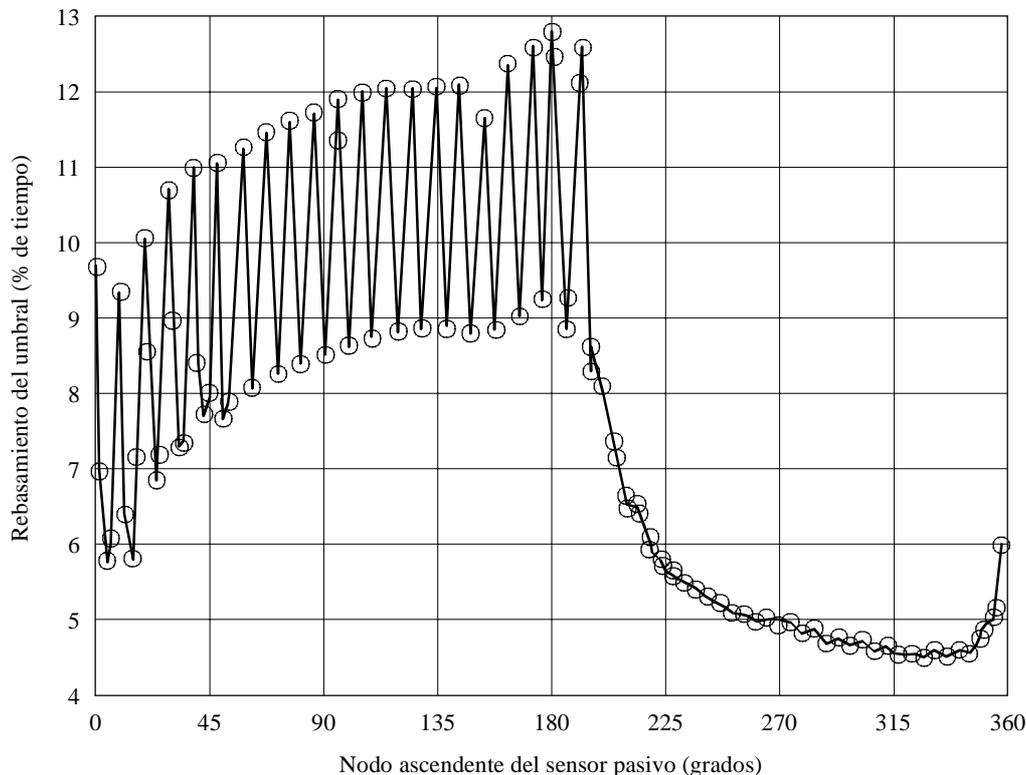
CUADRO 3

Niveles y duraciones de las interferencias

	Niveles por encima del umbral de interferencia (dB)	Duración de un único fenómeno de interferencia (s)	Intervalos entre fenómenos sucesivos (min)
Configuración 1	18,5-31	1-75	1-81
Configuración 2	7-10	10-665	1-81
Configuración 3	7-65	2-138	1-81

FIGURA 2

Dependencia del rebasamiento del umbral respecto del nodo ascendente del sensor



1279-02

Cada punto de la Fig. 2 corresponde al resultado de la simulación efectuada para un nodo ascendente dado en la órbita del vehículo espacial del sensor AMSU. Se representa el porcentaje del tiempo en que el nivel de interferencia excede del umbral de interferencia del sensor en función del nodo ascendente del respectivo AMSU. De un modo general, en los ciclos representados por los puntos que siguen el «borde superior» de la curva envolvente, el nodo AMSU coincidió con un nodo ascendente de un plano de la órbita no OSG (por ejemplo, 0° , $66,5^\circ$, ... $180,5^\circ$ y 190°). Los ciclos representados por los puntos del gráfico que conforman el «borde inferior» de la envolvente corresponden a nodos de la órbita del AMSU situados entre dos planos de órbita no OSG. Ha de señalarse que los nodos ascendentes del AMSU entre 0° y 50° se seleccionaron arbitrariamente, sin hacerlos coincidir exactamente con los nodos de la órbita no OSG. En cambio, por encima de 50° , los nodos ascendentes de la órbita del AMSU se seleccionaron de modo que coincidieran exactamente o a mitad de camino entre dos nodos de la órbita no OSG. Puesto que los EES con canales comunes y a través de los planos son más frecuentes en la dirección del sensor AMSU a $180,5^\circ$ que a 0° , el porcentaje de interferencia es mayor cuando el nodo del AMSU se encuentra a $180,5^\circ$.

El umbral de interferencia del AMSU es de -157 dB(W/400 MHz) que es el umbral supuesto en la Fig. 2. En la simulación no se tomó en cuenta el modo de calibración. De haberse incluido, la Fig. 2 presentaría un cuadro de interferencia aún más adverso. Se considera que la interferencia es excesiva cuando sobrepasa el umbral del sensor durante más del 1% del tiempo.

Suponiendo que el rebasamiento del umbral en un $x\%$ del tiempo corresponde a una contaminación del $x\%$ de las células de medición que explora por el sensor, puede verse en la Fig. 2 que los criterios de interferencia espacial de la Recomendación UIT-R SA.1029 no se han satisfecho para ninguno de los nodos ascendentes examinados.

4 Conclusión

Los resultados de la Fig. 2 demuestran que los niveles de interferencia producidos por los EES de la constelación no OSG aquí utilizada sobrepasan el umbral de interferencia del sensor durante por lo menos el 4% del tiempo, pudiendo llegar hasta el 13%. La magnitud del rebasamiento del umbral depende del nodo ascendente del satélite del sensor respecto de los nodos ascendentes de la constelación no OSG.

ANEXO 2

Resultados del estudio sobre interferencias de satélites OSG

1 Introducción

Cuando la diferencia de longitud entre dos satélites OSG que se comunican por EES es bastante pequeña, no se producirán interferencias en los satélites portadores de sensores, ya que el enlace no penetra las esferas orbitales de estos últimos. Se efectuó un análisis paramétrico para determinar el máximo de dfp que un EES podría producir a la altura de un satélite de sensor sin causar un rebasamiento del umbral de interferencia del sensor ni en el modo de exploración ni en el de calibración. Para ambos modos, se obtuvieron analíticamente los valores máximos de dfp. Para el modo de calibración, se efectuaron simulaciones destinadas a obtener una estadística de las interferencias. Dicha estadística depende de la separación de longitudes entre los satélites OSG. La separación fue reduciéndose desde su máximo de $162,6^\circ$ (separación en la que el EES OSG roza la Tierra) hasta alcanzar un nivel de interferencia algo inferior al umbral de interferencia del sensor.

Los posibles sistemas de satélites OSG presentan ganancias de antena de transmisión y recepción entre 45 y 60 dBi, anchuras de banda entre 90 MHz y 1 GHz, y temperaturas de ruido del sistema receptor de unos 650 K. En las simulaciones efectuadas se consideraron ganancias de antena de 45, 50, 55 y 60 dBi, y una anchura de banda de 1 GHz. Para las antenas de los EES se han aplicado los diagramas de antena de la Recomendación UIT-R S.672. Mediante simulaciones se ha ajustado la potencia de transmisión del satélite OSG, hasta alcanzar una relación E_b/N_0 del EES de 12 dB. El Cuadro 4 resume las características del sensor de microondas considerado.

CUADRO 4

Características del sensor de microondas con barrido transversal

Umbral de interferencia del sensor (dB(W/100 MHz))	-166
Ganancia máxima de la antena (dBi)	45 -14 los lóbulos posteriores
Ganancia de la antena de calibración (dBi)	35
Campo de visión (grados desde el nadir)	+48,5°
Altitud (km)	$\leq 1\ 000$
Inclinación	Sincronización solar (100,1° para una altitud de 1 000 km)
Frecuencia central (GHz)	56

2 Resultados del estudio

En su modo de observación de la Tierra, el sensor (se supone un sensor con barrido transversal) recibe interferencias a través de los lóbulos laterales de su antena, en la que se considera una ganancia de -14 dBi. Para evitar un rebasamiento del umbral de interferencia cuando el sensor se encuentra en modo de observación de la Tierra, la dfp producida a alturas de 1 000 km o inferiores sobre la superficie de la Tierra por una única transmisión del enlace entre satélites no debe ser superior a $-97\text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100\text{ MHz))}$. Un margen de 1 dB para interferencias provenientes de múltiples EES reduce la dfp admisible a $-98\text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100\text{ MHz))}$.

En su modo de calibración, el sensor puede recibir interferencias a través del haz principal de su antena. De ahí que la posibilidad de interferencias sea mucho mayor en dicho modo. El nivel y la duración de los fenómenos de interferencia son variables, requiriéndose por ello una simulación dinámica. La simulación con sensores AMSU revela que para antenas de satélites OSG de 45 dBi, se excede el umbral de interferencia del sensor durante aproximadamente un 5% del tiempo, para grandes separaciones de los satélites OSG (cerca de 160°). La interferencia es insignificante para separaciones inferiores a 70°. La duración de los fenómenos de interferencia oscila entre 0,2 y 21,5 min. Por otro lado, para antenas de satélites OSG de 60 dBi, el umbral de interferencia del sensor se sobrepasa solamente el 0,14% del tiempo para separaciones longitudinales superiores a 160°, siendo insignificante la interferencia para separaciones inferiores a 160°. La duración de los fenómenos de interferencia oscila entre 0,1 y 4,1 min. La simulación con sensores de barrido transversal daría valores de interferencia aún mayores.

Los sensores de barrido transversal tienen entradas fijas para la detección dirigidas hacia la Tierra. La antena de calibración en el espacio frío será una antena separada dirigida hacia el cielo frío. El análisis dinámico llevado a cabo por el sensor AMSU debe proporcionar resultados semejantes para la antena de barrido transversal puesto que las orientaciones son similares. Las duraciones de los periodos de interferencia serán función de la ganancia de la antena de calibración.

Los límites de dfp para los sistemas entre satélites OSG deben ser suficientes para proteger los sistemas actuales y futuros. El actual sensor AMSU tiene una ganancia de antena de 36 dBi, una abertura efectiva de -21 dB/m^2 a 58 GHz y una sensibilidad de -161 dBW . Admitiendo un margen de 3 dB para fuentes de interferencia múltiples, se necesita un límite de dfp de $-143 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$ a fin de evitar la interferencia al sensor si éste apunta hacia la OSG. Los sistemas de antenas de exploración planificados deberán tener una ganancia de antena 3 dB superior y, por consiguiente, precisan un límite de dfp de $-146 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$.

El sensor de barrido transversal tiene una sensibilidad de $-166 \text{ dB(W/100 MHz)}$. Como muestra el Cuadro 5, puede protegerse contra la interferencia con un límite de $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$ cuando apunta a la OSG si la ganancia de su antena de calibración no rebasa el valor de 35 dBi.

CUADRO 5

Límite de protección del sensor basado en el modo de calibración

Parámetro	Sensor AMSU	Barrido transversal	Sensor AMSR
Umbral de interferencia del sensor (dB(W/100 MHz))	-161	-166	-161
Ganancia de la antena de calibración (dBi)	36	35	39
Abertura efectiva a 58 GHz (dB/m^2)	-21	-22	-18
Dos fuentes de interferencia simultáneas (dB)	3	3	3
Máxima dfp a 1000 km para proteger el sensor ($\text{dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$)	-143	-147	-146

Un límite de dfp de $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$ es suficiente para proteger los sensores pasivos contra la interferencia durante el modo de calibración e impone solamente una pequeña limitación a los enlaces entre satélites en la OSG. Una mayor reducción de la dfp por debajo de $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$ influiría muy negativamente en el SES.

El límite de dfp de $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$ protegerá al sensor cuando su antena apunte directamente a la OSG. También puede evitarse la interferencia a los sensores pasivos causada por los enlaces del SES en la OSG seleccionando direcciones de calibración que eviten el apuntamiento de la antena directamente a la OSG. Los factores que influyen en el apuntamiento de la antena son la inclinación del sensor y de las órbitas entre satélites OSG, el ángulo de calibración con respecto al nadir y la guiñada. Puede que no sea conveniente controlar todos estos factores, además ello exigiría una coordinación detallada entre los sensores y las redes del SES, lo que obstaculizaría el ulterior desarrollo de los sensores pasivos.

3 Conclusión

La compartición entre los sensores de microondas y los EES en la OSG es posible si se adopta un límite de dfp procedente de una sola fuente de $-147 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 100 \text{ MHz))}$ para las emisiones producidas por una red del SES (OSG) en todas las altitudes de 0 a 1000 km por encima de la superficie de la Tierra.