

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1339*

VIABILIDAD DE LA COMPARTICIÓN ENTRE SENSORES PASIVOS A BORDO DE VEHÍCULOS ESPACIALES, DEL SERVICIO DE EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE Y ENLACES ENTRE SATÉLITES DE REDES DE SATÉLITES GEOESTACIONARIOS EN LA GAMA DE 50 A 65 GHz

(Cuestión UIT-R 246/4)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en la Resolución 643 (CMR-95) de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1995) se encarga al UIT-R que efectúe los estudios necesarios para identificar las bandas más idóneas para el servicio entre satélites (SES) en la gama de frecuencias de 50 a 70 GHz para que la CMR-97 (Ginebra, 1997) pueda proceder a las atribuciones apropiadas a dicho servicio;
- b) que la banda de frecuencias 54,25-58,2 GHz está actualmente atribuida a título primario compartido al servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) (SETS), al servicio de investigación espacial (pasivo) (SIE) y al SES, y que las bandas 58,2-59 GHz y 64-65 GHz están atribuidas exclusivamente al SETS (pasivo) y al SIE (pasivo);
- c) que esta banda única es importante para las mediciones pasivas y que se ha de considerar la compartición entre las estaciones espaciales con sensores pasivos y las estaciones espaciales del SES;
- d) que la utilización planeada del SES en las bandas de frecuencias próximas a 60 GHz ha aumentado significativamente;
- e) que las características técnicas y los requisitos operacionales del SES en esas bandas se identifican en la Recomendación UIT-R S.1327;
- f) que la Recomendación UIT-R SA.1029 contiene criterios de protección contra la interferencia para sensores pasivos en las bandas próximas a 60 GHz;
- g) que, a partir de los criterios de protección aludidos, se han llevado a cabo estudios sobre la viabilidad de la compartición entre sensores pasivos a bordo de vehículos espaciales y enlaces entre satélites de redes de satélites geoestacionarios, que se detallan en el Anexo 1;
- h) que en esos estudios se ha llegado a la conclusión de que es probable que los sistemas del SES de órbita no geoestacionaria (no OSG) causen interferencia perjudicial a los sensores pasivos y que, en general, la compartición no es viable;
- j) que la compartición efectiva entre los sensores pasivos y los sistemas del SES OSG permitirá aprovechar al máximo el espectro,

reconociendo

- a) que es necesario seguir explotando los sistemas del SES existentes y planificados en la banda 56,9-57,0 GHz y que estudios han demostrado que esos sistemas no causarán interferencia inaceptable a los sensores del SETS (pasivo),

recomienda

- 1** que, para que la compartición sea viable entre las redes del SES OSG y sensores pasivos, en todas las configuraciones del SES OSG y el SETS (pasivo), la densidad de flujo de potencia (dfp) de una sola fuente producida por los enlaces entre satélites de una red OSG, calculada para todas las altitudes entre 0 y 1 000 km sin tener en cuenta la atenuación atmosférica, no debe exceder de $-147 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ por 100 MHz;
- 2** que los métodos del Anexo 1 se utilicen para determinar en qué medida se puede aplicar un límite menos estricto al valor de dfp del *recomienda* 1.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 7 de Radiocomunicaciones.

ANEXO 1

1 Introducción

El presente Anexo contiene resúmenes de los estudios de compartición y métodos para calcular las condiciones de compartición entre sensores pasivos del SETS y sistemas OSG del SES. La información se obtuvo sobre la base de las Recomendaciones UIT-R SA.1028 y UIT-R SA.1029. No obstante, como estas Recomendaciones han sido revisadas, habrá que examinar de nuevo este estudio para incorporar posibles cambios en las conclusiones.

2 Hipótesis

Los sensores pasivos planificados funcionan en órbitas heliosíncronas casi polares (inclinación ~ 99°), a altitudes inferiores a 1 000 km.

2.1 Hipótesis aplicables a los sensores

CUADRO 1

Hipótesis aplicables a los sensores

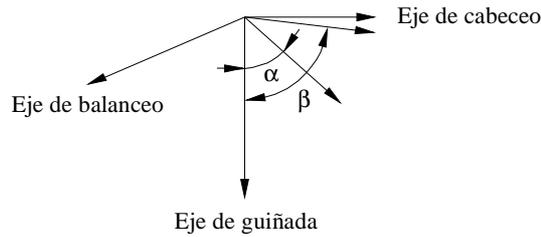
Parámetro	Sensor AMSU	Sensor de barrido transversal
Periodo (s)	6 304	6 304
Altitud (km)	833	833
Diagrama de la antena de calibración	Informe UIT-R 558	Informe UIT-R 558
Lóbulo posterior de la antena de calibración (dBi)	-10	-10
Diámetro de la antena de calibración (m)	0,15	0,133
Ganancia de la antena de calibración (dBi)	36	35
Frecuencia (GHz)	54,25	54,25
Inclinación (grados)	98,7	98,7
Gama de ángulo de calibración (grados)	65-85	Por determinar
Ángulo de calibración planificado (grados)	83,3	Por determinar
Umbral de interferencia (dBW en 100 MHz)	-161	-166
Porcentaje de tiempo de interferencia (%)	< 0,01	< 0,01

2.1.1 Sensor de unidad avanzada de sondeo por microondas (AMSU)

Se prevé utilizar próximamente el sensor AMSU (Advanced Microwave Sounder Unit) con los parámetros indicados en el Cuadro 1. Este sensor explora la superficie de la Tierra en modo detección. La exploración es normal al vector de velocidad a través del nadir (Fig. 1). Para la calibración, el sensor toma una lectura en el espacio, apartándose del sol. El ángulo de calibración puede variar entre 65° y 85° con respecto al nadir. En este ejemplo se toma como hipótesis 83,3°.

Las calibraciones son perpendiculares al eje de balanceo y el lugar geométrico de los vectores de calibración forma un cono. El eje del cono está inclinado con respecto al plano ecuatorial con un ángulo $\Phi = i - 90^\circ$, siendo i el ángulo de inclinación (grados). El diagrama de antena del sensor AMSU se indica en la Fig. 2. El diagrama utilizado en el presente análisis se ha modificado para obtener un lóbulo posterior de -10 dBi, conforme al diseño del sensor. Este cambio no afecta al análisis, ya que se ha demostrado que el acoplamiento del lóbulo lateral con el SES OSG no causa interferencias.

FIGURA 1
Plano de exploración del sensor pasivo

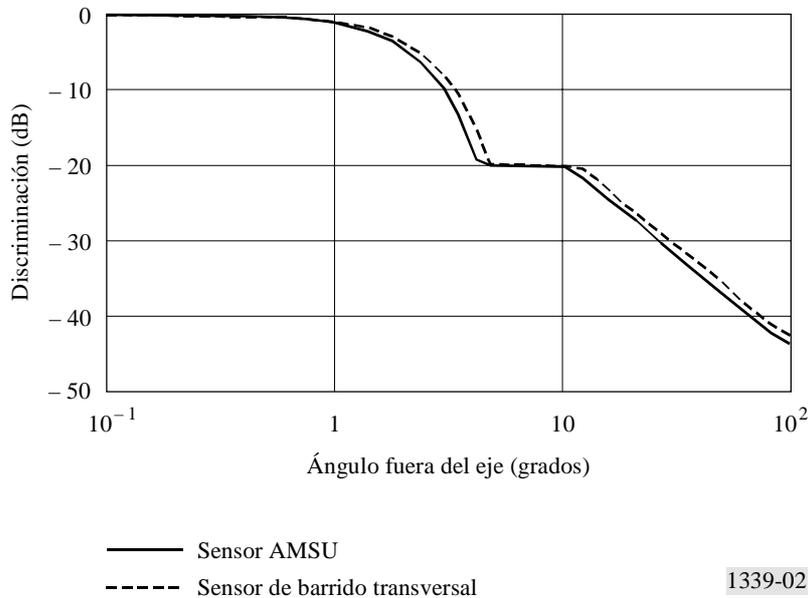


α : Ángulo de exploración de la AMSU ($\pm 48^\circ$)

β : Ángulo de calibración de la AMSU ($83,3^\circ$)

1339-01

FIGURA 2
Diagramas de la antena de calibración del sensor



1339-02

2.1.2 Sensor de barrido transversal (pushbroom)

En la Recomendación UIT-R SA.1029 se indica el valor de -166 dBW por 100 MHz como nivel de interferencia admisible para los sensores con barrido transversal. Al igual que para un sensor de exploración, la configuración de interferencia más estricta que se debe examinar es el modo de calibración en el cual el sensor está orientado hacia el espacio frío y la interferencia se puede acoplar en el haz principal de la antena del sensor.

El sensor de exploración AMSU utiliza una antena común de rotación mecánica para la detección de la atmósfera y la calibración. Por lo tanto, en el análisis de los niveles de interferencia se ha de tener en cuenta la ganancia del haz principal de esta antena de ganancia elevada (36 dBi). La ventaja del sensor con barrido transversal con respecto al sensor de exploración es que no es necesario explorar mecánicamente su antena. Su orientación hacia la Tierra es fija.

No se prevé empezar a utilizar los sensores con barrido transversal hasta aproximadamente el año 2005, y su diseño no ha quedado finalizado. No obstante, es evidente que no convendrá utilizar la misma antena para la calibración y la detección atmosférica. La configuración probable sería una antena de calibración separada fijada al costado del vehículo espacial que está orientado en sentido opuesto a la Tierra. No se necesita una antena de calibración de ganancia elevada y, en realidad, una antena de pequeñas dimensiones y ganancia moderada tendría ventajas desde el punto de vista del diseño mecánico.

En el presente análisis se supone que la antena de calibración con barrido transversal tendría un sensor de una ganancia similar al AMSU, pero con una mayor eficacia de lóbulo principal, lo cual ensancharía efectivamente el lóbulo principal de la antena. Además, conviene observar que la orientación de guiñada del satélite se lleva a cabo de forma rutinaria cuando éste lleva también un sensor activo tal como un dispersímetro de viento, por ejemplo ERS-1 o METOP. La finalidad de la orientación de guiñada es compensar la rotación de la Tierra, de modo que la línea Doppler cero sea perpendicular al plano que contiene los ejes de guiñada y balanceo del satélite. Para una órbita heliosíncrona a 850 km de altitud, el valor máximo de la orientación de guiñada en el momento de cruzar el Ecuador es de aproximadamente $\pm 4^\circ$.

Dado que el límite de interferencia del sensor con barrido transversal es inferior al del AMSU, se puede deducir que el límite de dfp adoptado para proteger de forma adecuada al sensor con barrido transversal contra la interferencia también proporcionará una protección adecuada contra la interferencia para los sensores AMSU.

2.2 Hipótesis aplicables al SES OSG

Las hipótesis aplicables al SES OSG que figuran en el Cuadro 2 proceden de la Recomendación UIT-R S.1327. La separación orbital teórica máxima (línea 7) se determina a partir de la relación C/N mínima para el enlace, que se supone de 12 dB. Este valor calculado no tiene en cuenta la atenuación atmosférica. La línea 8 es la discriminación de una antena situada en la OSG respecto al punto de altitud 1 000 km. La línea 9 es la dfp correspondiente en ese punto. Obsérvese que sólo tres sistemas (W1, W2A y W4) pueden cerrar sus enlaces con la separación completa de 162,6 km. Obsérvese también que se precisa una p.i.r.e. de 65 dBW o superior para cerrar el enlace con separaciones orbitales de 120° . Se adopta el diagrama de antena del Informe UIT-R 558, modificado para un nivel de lóbulo posterior de -10 dBi.

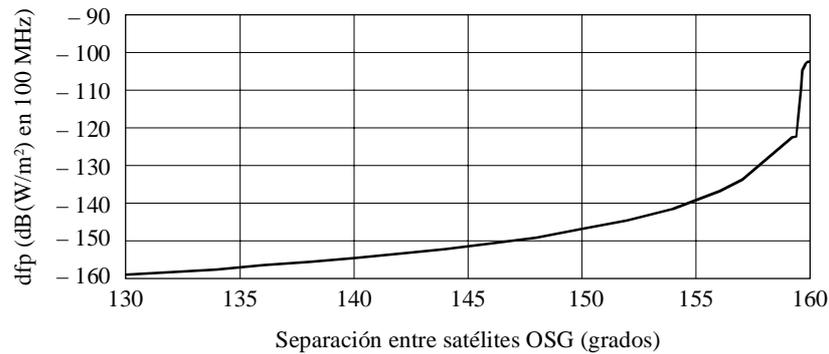
CUADRO 2

Hipótesis aplicables al SES OSG

Línea	Referencia	W1	W2A	W2B	W3A	W3B	W4	W5	W6	W7	W8
1	Potencia (dBW)	13	16	-1	8,5	8,5	8	11,76	13	13	13
2	p.i.r.e. (dBW)	71,5	75	57	54,5	64	68,3	64,76	63,3	62,1	68,7
3	Anchura de banda (GHz)	1,00	3,2	0,04	1,00	1,00	1,00	1,00	0,12	0,12	1,00
4	p.i.r.e. en 100 MHz (dB(W/m ²))	61,3	61	57	47,5	56,5	58,3	54,8	62,5	61,3	58,7
5	Ruido del sistema (K)	468	800	2 034	300	300	630	300	290	290	330
6	Diámetro (m)	1,8	2,0	2,0	0,4	1,2	1,8	0,77	0,75	0,75	1,0
7	Separación orbital teórica máxima (grados)	162,6	162,6	78,6	10,1	67,3	162,6	53,9	111,1	77,4	136,4
8	Discriminación en la OSG respecto al punto 1 000 km (dB)	0,0	0,0	65,7	54,8	61,4	0,0	58,1	49,6	55,0	44,8
9	dfp a 1 000 km en 100 MHz (dB(W/m ²))	-102,2	-102,5	-172,2	-170,8	-168,4	-105,2	-166,8	-150,6	-157,2	-149,6

Algunos sistemas del SES están concebidos para ángulos de separación de unos 160° . Otros sistemas están concebidos para separaciones orbitales inferiores. La dfp a 1 000 km variará con la separación orbital entre los satélites del SES OSG. Por ejemplo, la dfp a 1 000 km de un sistema como el W2A se describe en la Fig. 3. Como se ve en esa Figura, si se precisara una dfp de -155 dB(W/m²) en 100 MHz, los sistemas W2A estarían limitados a una separación máxima de 140° .

FIGURA 3
**Separación entre satélites OSG admitida en función
 de la variación de los umbrales de dfp**



1339-03

3 Determinación de un umbral de dfp para los satélites del SES OSG a fin de proteger al SETS (pasivo)

En lo que concierne a los sensores planificados, estudios realizados sobre este tema han demostrado que los casos más desfavorables se producen cuando un sensor pasivo se halla en modo de calibración en frío, orientado hacia el espacio, en lugar del modo sensor, orientado hacia la Tierra. Se supone que hay dos casos potenciales más desfavorables, a saber:

Caso 1: Cuando el sensor se halla en el haz principal de la estación del SES OSG

Caso 2: Cuando la estación del SES OSG se halla en el haz principal del sensor.

En este punto examinaremos ambos casos para determinar el nivel de dfp.

3.1 Caso 1 – El sensor se halla en el haz principal de la estación del SES OSG

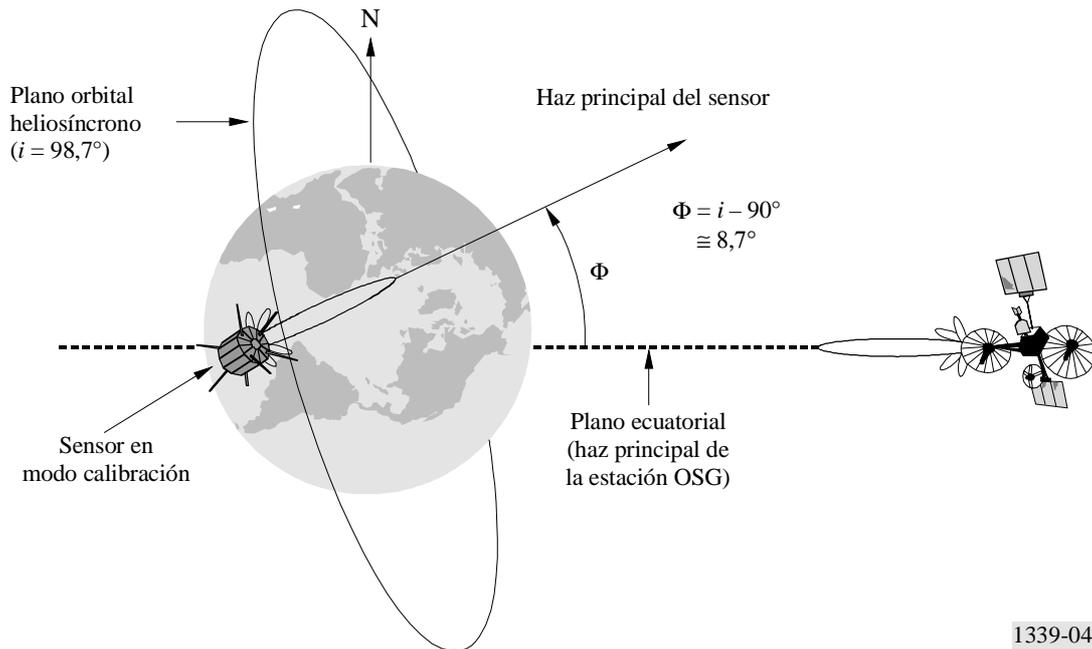
El sensor puede hallarse en el haz principal de la estación del SES OSG únicamente si el ángulo de separación entre las estaciones del SES OSG es próximo a 160° .

En el caso 1 ilustrado en la Fig. 4, el haz principal de la estación del SES OSG está orientado hacia el sensor pasivo. En el Ecuador, el sensor pasivo está calibrado con un ángulo Φ con respecto a la estación del SES OSG, igual a la inclinación menos 90° . Por lo tanto, el haz principal del sensor pasivo no está orientado hacia la estación del SES OSG.

La inclinación del sensor, i , menos 90° es el ángulo, Φ , es decir el ángulo efectivo con respecto al eje de puntería, en el sensor pasivo hacia el arco OSG. Este ángulo es de aproximadamente 9° , de los cuales sustraemos el ángulo de orientación de guiñada de 4° . En la Fig. 2 se puede ver que para un ángulo de 5° , la discriminación de la antena del sensor es de 20 dB. Se incluye un factor de 3 dB para tener en cuenta los diversos sistemas OSG. Por lo tanto, el umbral de dfp requerido para proteger a los sensores pasivos (en este caso) es de $-126,9$ dB, conforme al Cuadro 3.

Si el satélite del SES OSG está inclinado, la dfp necesaria para proteger al sensor viene dada por los valores del Cuadro 4. Por lo tanto, el caso más desfavorable es -147 dB(W/m²) en 100 MHz.

FIGURA 4
Sensor pasivo en el plano ecuatorial



CUADRO 3
Umbral de dfp para proteger a los sensores pasivos

Parámetro	Con discriminación
Umbral del sensor (dBW en 100 MHz)	-166,0
Ganancia de la antena (hacia el arco OSG) (dBi)	15
Apertura efectiva (dB(m ²))	-42,1
Factor para diversos sistemas OSG (dB)	3,0
Umbral de dfp resultante (dB(W/m ²) en 100 MHz)	-126,9

CUADRO 4
Valor de dfp para un satélite OSG inclinado

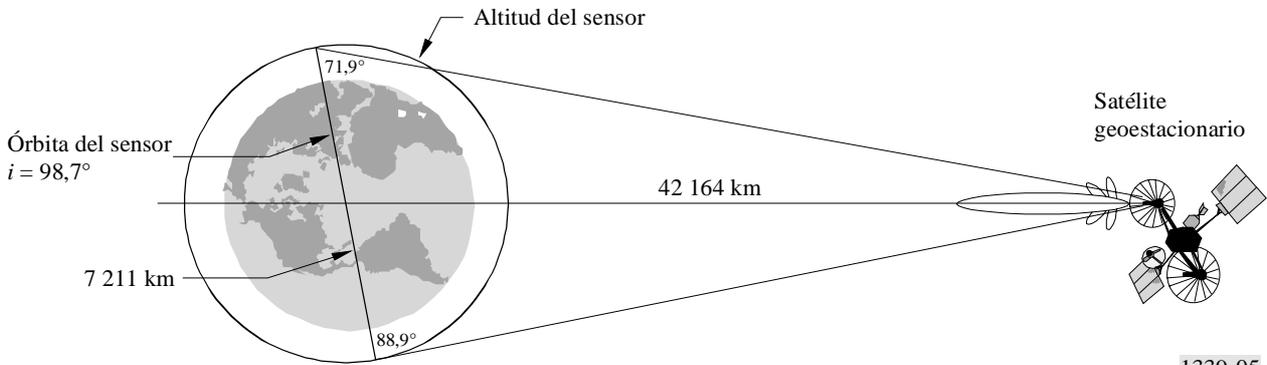
Inclinación del satélite OSG (grados)	Valor de dfp (dB(W/m ²) en 100 MHz)
0	-127
De 0 a 5	$-147 + 0,78(5 - i^2)$
Superior a 5	-147

3.2 Caso 2 – La estación del SES OSG se halla en el haz principal del sensor

En este caso, ilustrado en la Fig. 5, el sensor pasivo toma una lectura de calibración hacia el arco OSG. Un análisis geométrico muestra que el sensor sólo puede ver el arco OSG con ángulos inferiores a 71,9° o superiores a 88,9°. Los

ángulos de calibración para el AMSU van de 65° a 85°. Si el sensor está calibrando con ángulos inferiores a 71,9°, una estación del SES OSG puede hallarse en el haz principal del sensor. Una solución evidente consistiría en calibrar los sensores entre 75° y 85°. De este modo, el sensor pasivo nunca tomaría una lectura de calibración hacia el arco OSG.

FIGURA 5
Geometría del caso 2
Vista del plano ecuatorial

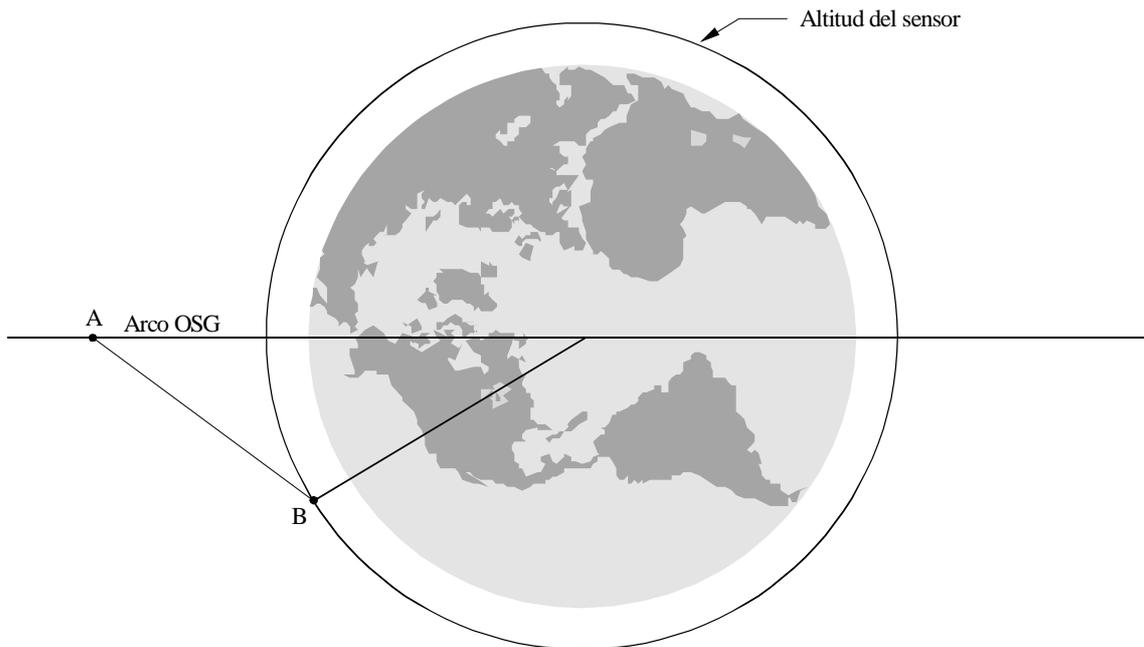


1339-05

Si bien por diseño los ASMU pueden utilizar la gama de 75° a 85°, sería prematuro suponer que el diseño de los sensores siempre contemplará ángulos de calibración próximos a 80°. Si un sensor está calibrando hacia el arco OSG, es necesario calcular el ángulo de discriminación con respecto a esa órbita. Los puntos siguientes contienen métodos para calcular la dfp en el sensor.

El ángulo entre la OSG y el sensor se ilustra en la Fig. 6. En esta vista desde la OSG, el satélite del SES OSG apunta a otro satélite SES OSG en el punto A. El ángulo entre el punto A (satélite SES OSG) y el punto B (sensor) es el ángulo que nos interesa. El ángulo es función de la separación entre satélites OSG así como de la anomalía media del sensor.

FIGURA 6
Ángulo con respecto al eje de puntería entre la OSG y el sensor pasivo
Vista desde la OSG



A: Punto al que está orientado el satélite del SES OSG

B: Punto en el que se halla el sensor pasivo

1339-06

3.3 Método de cálculo de la dfp de un enlace entre satélites OSG medida en una latitud de la esfera orbital del sensor

En el Cuadro 5 se recoge la terminología empleada en el cálculo de la dfp de un enlace entre satélites OSG, medida a una latitud determinada en la esfera orbital del sensor.

CUADRO 5

Terminología del método de cálculo de la dfp

Símbolo	Definición
Premisas	
$\Delta\Omega$	Separación orbital entre dos satélites OSG (grados)
λ	Latitud subsatelital, suponiendo una Tierra esférica (valor absoluto) (grados)
r_{OSG}	Radio de la órbita geoestacionaria (km)
$r_{sens.}$	Radio de la órbita del sensor (km)
i_{OSG}	Inclinación del plano OSG (valor absoluto) (grados)
P	Potencia de transmisión del enlace entre satélites OSG en una anchura de banda de referencia de 100 MHz (dBW en 100 MHz)
$G(\theta)$	Ganancia de antena fuera del eje del transmisor de enlace entre satélites OSG (dB)
Valores intermedios	
λ'	Latitud subsatelital efectiva, que compensa la inclinación de la OSG (grados)
b	1/2 distancia entre dos satélites OSG (km)
z	Distancia entre el punto medio del enlace entre satélites OSG y el punto más próximo en la esfera orbital del sensor a la latitud λ' (km)
h	Distancia vertical entre el sensor a la latitud λ' y el plano OSG (km)
a_2	Distancia horizontal entre el sensor a la latitud λ' y el eje de rotación de la Tierra (km)
a_1	Distancia horizontal entre el sensor a la latitud λ' y el punto medio del enlace entre satélites OSG (km)
Resultados	
R	Distancia entre el transmisor entre satélites OSG y el punto más próximo del enlace en la esfera orbital del sensor a la latitud λ' (km)
θ	Ángulo fuera del eje entre el transmisor del enlace entre satélites OSG y el punto tangente en la esfera orbital del sensor a la latitud λ' (grados)
dfp	Densidad de flujo de potencia del enlace entre satélites OSG, medida en el punto tangente en la esfera orbital del sensor a la latitud λ' (dB(W/m ²) en 100 MHz)

La dfp causada por un enlace entre satélites OSG a una latitud determinada en la esfera orbital del sensor se mide en el punto más próximo del enlace con respecto a la esfera orbital del sensor, según se indica en la Fig. 7.

Como se indica en la Fig. 7, b es la mitad de la distancia entre el satélite OSG transmisor y el satélite OSG receptor, que viene ilustrada en la Fig. 8.

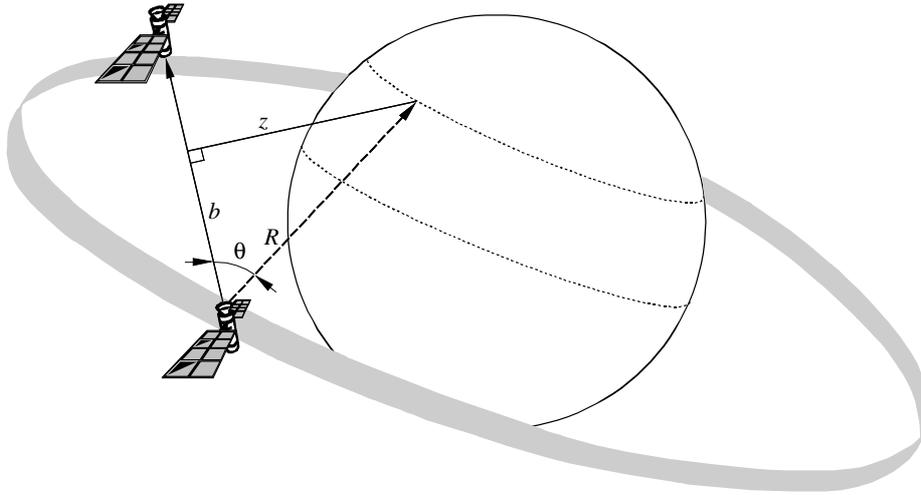
$$b = r_{OSG} \sin (\Delta\Omega/2) \quad \text{km}$$

Se calcula la latitud subsatelital efectiva λ' para compensar la inclinación del plano OSG:

$$\lambda' = \begin{cases} \lambda - i_{OSG} & \text{Para } \lambda \geq i_{OSG} \\ i_{OSG} & \text{En los demás casos} \end{cases}$$

FIGURA 7

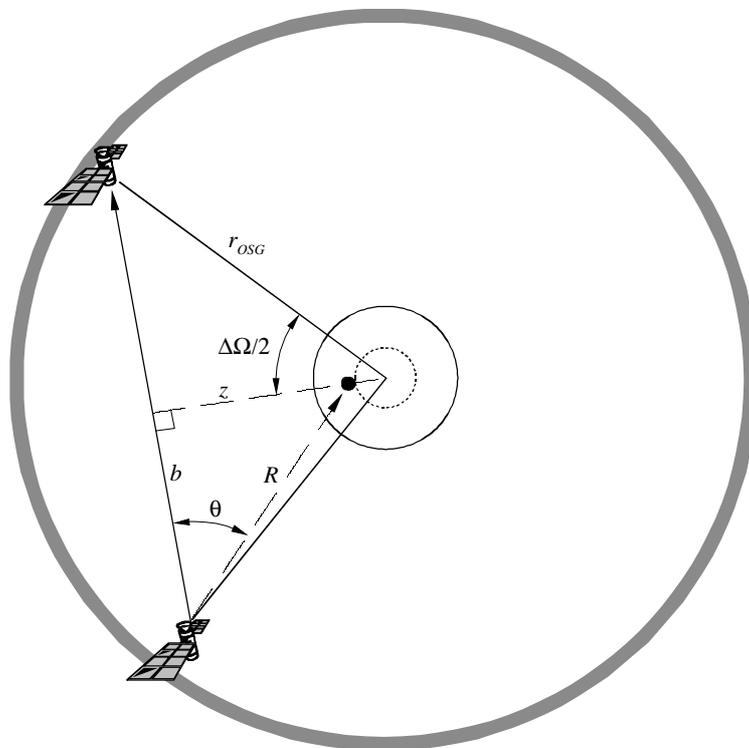
Punto más próximo al enlace entre satélites OSG



1339-07

FIGURA 8

Vista polar para la distancia b



1339-08

La longitud de a_1 , mostrada en la Fig. 9, es:

$$a_1 = \sqrt{r_{OSG}^2 - b^2} - a_2 \quad \text{km}$$

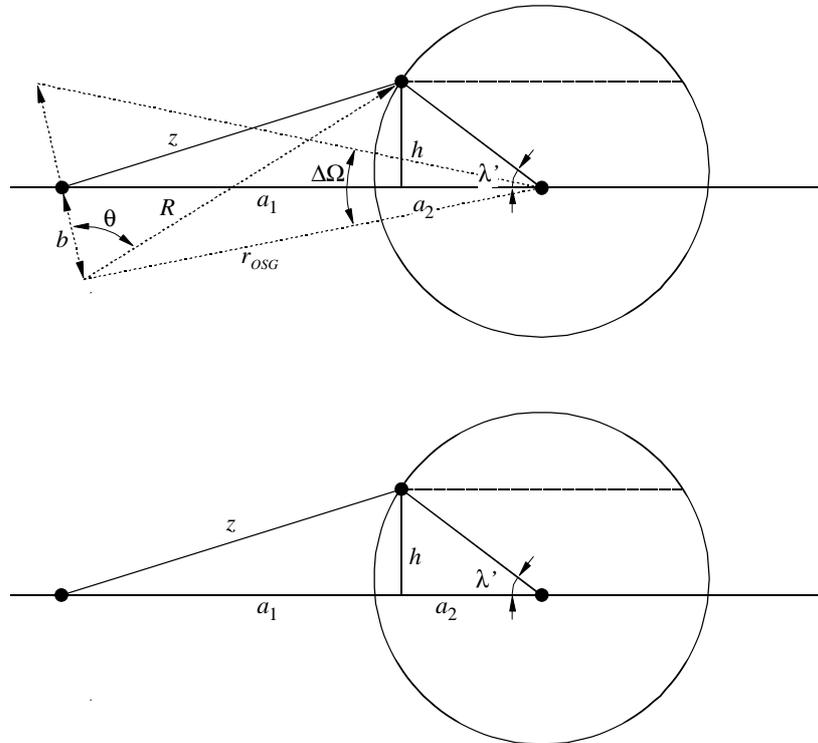
siendo:

$$a_2 = r_{sens.} \cos \lambda' \quad \text{km}$$

Sustituyendo:

$$a_1 = \sqrt{r_{OSG}^2 - b^2} - r_{sens.} \cos \lambda' \quad \text{km}$$

FIGURA 9
Vista a lo largo del plano OSG para la distancia a_1



1339-09

La distancia h entre el sensor y el plano OSG es:

$$h = r_{sens.} \sin \lambda' \quad \text{km}$$

y por lo tanto la distancia más corta z entre el enlace entre satélites (ISL – inter-satellite link) y la esfera orbital del sensor a la latitud λ' es:

$$z = \sqrt{a_1^2 + h^2} \quad \text{km}$$

La distancia R entre el transmisor entre satélites OSG y el punto de la esfera del sensor más próximo al ISL es:

$$R = \sqrt{z^2 + b^2} \quad \text{km}$$

y el ángulo fuera del eje con respecto al transmisor entre satélites OSG es:

$$\theta = \text{tg}^{-1}(z/b) \quad \text{grados}$$

La dfp calculada en la esfera del sensor a la latitud, λ , viene dada, por lo tanto, por:

$$dfp = \begin{cases} P + G(\theta) - 10 \log(4\pi(R \times 1000)^2) \\ P + G(\theta) - (20 \log R + 20 \log 1000 + 10 \log 4\pi) \\ P + G(\theta) - 20 \log R - 71 \quad \text{dB(W/m}^2\text{) en 100 MHz} \end{cases}$$

siendo $G(\theta)$ la ganancia fuera del eje de la antena de transmisión entre satélites OSG. En el Cuadro 6 se recogen los resultados de un cálculo hipotético.

CUADRO 6
Cálculo de la dfp

Parámetros	
$\Delta\Omega$ (grados)	150
λ (grados)	49,0
r_{OSG} (km)	42 164
$r_{sens.}$ (km)	7 378
i_{OSG} (grados)	2
P (dBW en 100 MHz)	2,8
Ganancia máxima (dBi)	58,5
$G(\theta)$ (dB)	Rec. UIT-R S.672, Anexo 1
Resultados	
R (km)	41 502
θ (grados)	11,1
$G(\theta)$ (dB)	8,2
dfp (dB(W/m ²) en 100 MHz)	-152,3

3.4 Método de cálculo de la latitud del sensor cuando apunta al arco OSG

Uno de los parámetros del método anterior de cálculo de la dfp es λ , la latitud del vehículo espacial cuando apunta al arco OSG. Este método da el ángulo λ necesario.

Un sensor pasivo en órbita terrestre baja necesita realizar una calibración en espacio frío. Realiza esta tarea desviando su antena de la Tierra y el Sol, con un ángulo α con respecto al plano de su órbita. El problema se produce cuando la combinación del ángulo de calibración, α , y la posición en la órbita del sensor provoca una intersección del trayecto de calibración con el arco OSG. El objetivo de esta prueba es determinar para una geometría determinada las posiciones de la órbita del sensor en que se puede producir.

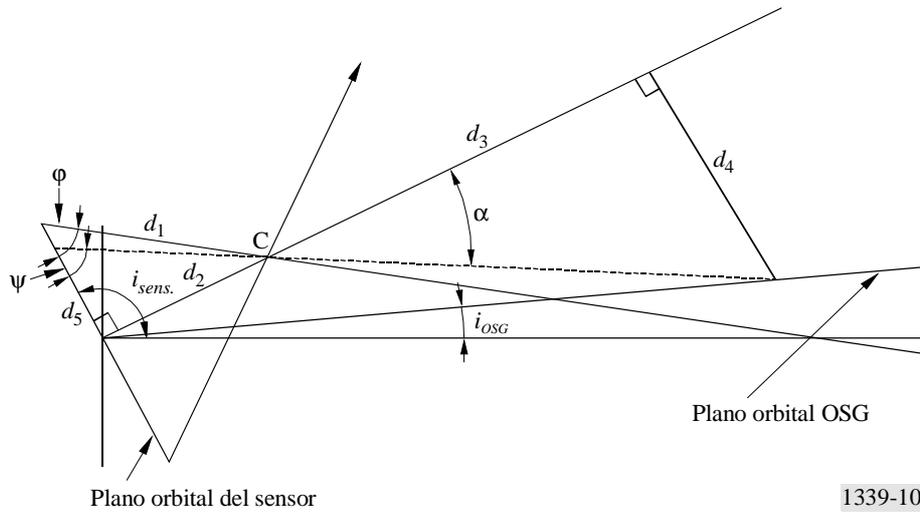
Siendo:

- $r_{sens.}$: radio de la órbita del sensor
- $i_{sens.}$: inclinación de la órbita del sensor
- i_{OSG} : inclinación del plano OSG
- φ : ángulo de calibración del sensor
- r_{OSG} : radio de la órbita geoestacionaria

determinése λ que es la latitud del sensor en la cual se puede producir una intersección entre la calibración y el arco OSG.

La calibración siempre está orientada al punto C indicado en la Fig. 10.

FIGURA 10
Geometría de cálculo de la latitud del sensor



1339-10

Las distancias y los ángulos se hallan con el método siguiente:

FIGURA 11
Ángulo de latitud del sensor

$$d_1 = \frac{r_{sens.}}{\cos \varphi}$$

$$d_2 = d_1 \sin \varphi$$

$$d_3 = r_{OSG} \cos(i_{sens.} - 90^\circ - i_{OSG})$$

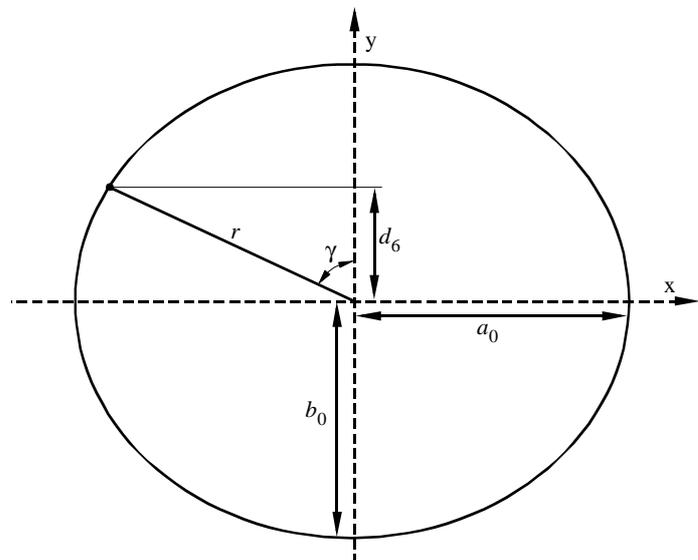
$$d_4 = r_{OSG} \sin(i_{sens.} - 90^\circ - i_{OSG})$$

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{d_4}{d_3 - d_2}\right)$$

$$\psi = 180^\circ - (90^\circ + \alpha)$$

$$d_5 = d_2 (\sin \alpha / \sin \psi)$$

$$d_6 = d_5 \cos(i_{sens.} - 90^\circ)$$



1339-11

A continuación se introduce el ángulo γ , representado en la Fig. 11.

$$\begin{aligned}x &= r \operatorname{sen} \gamma \\y &= d_6\end{aligned}$$

$$\frac{r^2 \operatorname{sen}^2 \gamma}{a_0^2} + \frac{d_6^2}{b_0^2} = 1$$

siendo:

$$\begin{aligned}a_0 &= r_{sens.} \\b_0 &= r_{sens.} \cos(i_{sens.} - 90^\circ)\end{aligned}$$

y r viene dado en la Fig. 11.

Sustituyendo:

$$\frac{r^2 \operatorname{sen}^2 \gamma}{r_{sens.}^2} = 1 - \frac{d_6^2}{[r_{sens.} \cos(i_{sens.} - 90^\circ)]^2}$$

Y como:

$$\begin{aligned}r^2 &= d_6^2 + x^2 = d_6^2 + r^2 \operatorname{sen}^2 \gamma \\r^2 &= \frac{d_6^2}{(1 - \operatorname{sen}^2 \gamma)}\end{aligned}$$

Se obtiene:

$$\frac{\operatorname{sen}^2 \gamma}{r_{sens.}^2 (1 - \operatorname{sen}^2 \gamma)} = \frac{1}{d_6^2} - \frac{1}{[r_{sens.} \cos(i_{sens.} - 90^\circ)]^2}$$

$$\frac{\operatorname{sen}^2 \gamma}{1 - \operatorname{sen}^2 \gamma} = \frac{r_{sens.}^2}{d_6^2} - \frac{1}{\cos^2(i_{sens.} - 90^\circ)}$$

$$\operatorname{tg}^2 \gamma = \frac{r_{sens.}^2}{d_6^2} - \frac{1}{\cos^2(i_{sens.} - 90^\circ)}$$

$$\gamma = \operatorname{tg}^{-1} \sqrt{\frac{r_{sens.}^2}{d_6^2} - \frac{1}{\cos^2(i_{sens.} - 90^\circ)}}$$

$$\lambda = 90^\circ - \gamma$$

En el Cuadro 7 se dan los resultados de un cálculo hipotético:

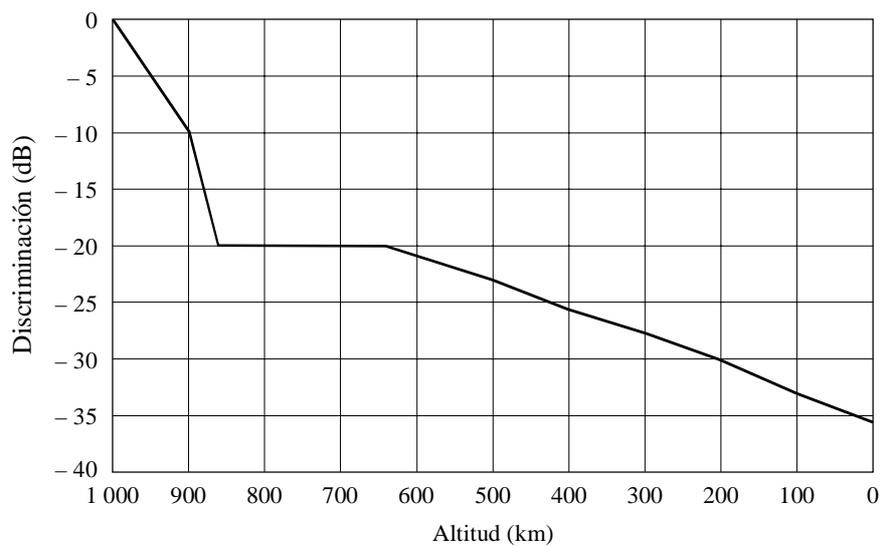
CUADRO 7
Cálculo hipotético de la latitud

Parámetros	
Inclinación del sensor (grados)	100,1
Altitud del sensor (km)	1 000
Ángulo de calibración (grados)	70,0
Inclinación OSG (grados)	2,0
Resultado	
Latitud en la cual el haz principal del sensor corta el arco OSG (grados)	49,0

3.5 dfp a altitudes inferiores a 1 000 km

La discriminación con respecto a un sistema SES OSG típico (orientado a la altitud 1 000 km) se ilustra en la Fig. 12. Si un sensor se halla en una órbita inferior a 1 000 km, se puede utilizar una dfp aún menos estricta.

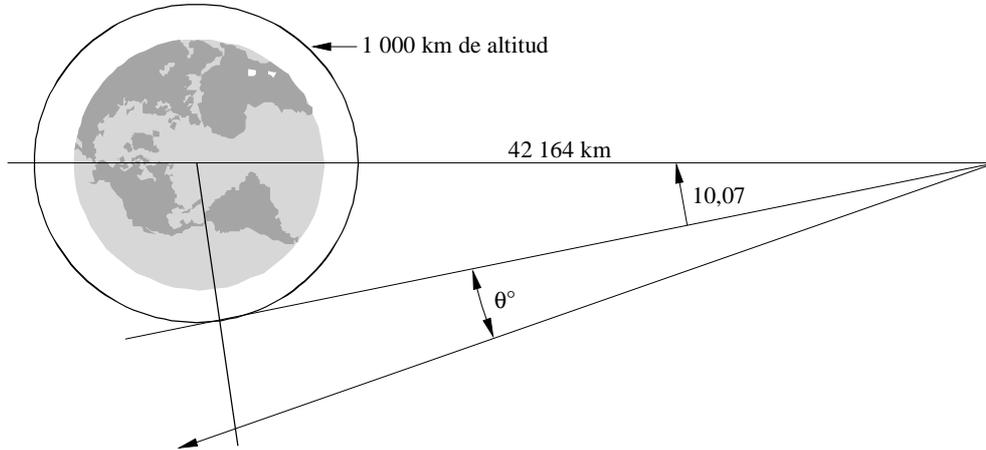
FIGURA 12
Discriminación de un sistema del SES OSG típico desde el punto 1 000 km
(dfp máxima a 1 000 km)



3.6 Consecuencias de la dfp sobre los sistemas del SES OSG

Un umbral de dfp limitaría el ángulo de separación para ciertos sistemas del SES OSG, según se ilustra en la Fig. 13.

FIGURA 13
Vista desde el Polo Norte, ángulo con respecto al punto 1 000 km



θ : Ángulo necesario para respetar la dfp a 1 000 km de altitud

1339-13

En el Cuadro 8 se indica la separación orbital máxima admisible en función de un diseño teórico (línea 1). También se calcula la limitación operacional (línea 5) entre una dfp de -128 y -147 dB(W/m²) en 100 MHz, para los tres sistemas cuyo diseño teórico excede del límite de dfp. Esto completa el análisis del caso 1.

CUADRO 8
Ángulo máximo de separación para los sistemas del SES OSG

Línea	Sistema	W1	W2A	W2B	W3A	W3B	W4	W5	W6	W7	W8
1	Separación orbital teórica (grados)	162,6	162,6	78,6	10,1	67,3	162,6	53,9	111,1	77,4	136,4
2	dfp a 1 000 km (dB(W/m ²) en 100 MHz)	-102,2	-102,5	-172,2	-170,8	-168,4	-105,2	-166,8	-150,6	-157,2	-149,6
3	Margen del sensor (dB)	-21,8	-21,5	48,2	46,8	44,8	-18,8	42,8	24,4	33,2	25,6
4	Limitación de la separación (grados) para respetar el límite de dfp de -128 dB(W/m ²) en 100 MHz	158,3	158,5	-	-	-	159,3	-	-	-	-
5	Limitación de la separación (grados) para respetar el límite de dfp de -147 dB(W/m ²) en 100 MHz	146,5	148,2	-	-	-	149,1	-	-	-	-

Es posible que algún sistema del SES OSG deba funcionar con separaciones longitudinales de hasta $162,6^\circ$. No obstante, cuando se necesitan dfp de -128 a -147 dB(W/m²) en 100 MHz, es posible que los sistemas típicos del OSG deban funcionar con separaciones más pequeñas.

3.7 Conclusiones con respecto al desarrollo analítico de una dfp para el SES OSG

Se ha demostrado que un valor de dfp único de -147 dB(W/m²) en 100 MHz protege a los sensores pasivos a bordo de vehículos espaciales para todas las configuraciones de sensores y de sistemas del SES. Se puede obtener un valor menos estricto (disminución del orden de 10 a 20 dB), dependiendo de las características de los sistemas estudiados.

4 Conclusiones

En este Anexo se han presentado métodos para calcular la interferencia causada a un sensor en órbita terrestre baja. Estos métodos se pueden emplear para calcular los criterios necesarios para respetar los niveles de interferencia que figuran en la Recomendación UIT-R SA.1029. Se ha determinado un nivel mínimo de dfp que protegerá a todos los sensores contra la interferencia en todas las configuraciones. Un límite de dfp de -147 dB(W/m²) en 100 MHz es suficiente para proteger a los sensores pasivos contra la interferencia en todas las configuraciones de sensores pasivos y sistemas del SES. Este valor se puede reducir entre 10 y 20 dB en determinadas configuraciones del SES OSG y sensores pasivos.

También se ha demostrado que los sensores con ángulos de calibración de entre 75° y 85° con respecto al nadir nunca tomarán una lectura de calibración hacia el arco OSG. Por lo tanto, si por diseño estos sensores utilizan un ángulo de calibración de 80° (como en el sensor AMSU) se mejorará la compartición con el SES OSG.

Se ha presentado un análisis de la interferencia causada por sistemas existentes a sensores pasivos propuestos. En este análisis se han considerado sensores del SETS (pasivo), situados en una órbita de altitud inferior a 1 000 km y una inclinación orbital heliosíncrona (próxima a $98,7^\circ$). En el modo de detección de la Tierra, los sensores están protegidos contra emisiones de transmisores del OSG, a través del lóbulo posterior de la antena del sensor. No obstante, estos sensores deben tomar una «lectura de calibración en frío» hacia el espacio lejano, y en este modo existe la posibilidad de que transmisores del OSG causen interferencias.
