

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1157-1

Criterios de protección para la investigación del espacio lejano

(1995-2006)

Cometido

Esta Recomendación se especifican los criterios de protección necesarios para controlar, gestionar y explotar plenamente los satélites de investigación tripulados y no tripulados en el espacio lejano; es decir, los satélites que realizan misiones asignadas en el volumen de espacio que se encuentra a más de 2 millones de km de la Tierra.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la investigación tripulada en el espacio lejano tiene requisitos específicos de extrema fiabilidad en materia de radiocomunicaciones para garantizar la seguridad de la vida humana;
- b) que la investigación tripulada y no tripulada en el espacio lejano tiene necesidades específicas de extrema fiabilidad en materia de radiocomunicaciones para garantizar la debida recepción de los valiosos datos científicos recogidos en instantes particularmente críticos en los que a menudo no es posible repetir la transmisión;
- c) que la extrema sensibilidad de las estaciones terrenas para el espacio lejano producen niveles de interferencia admisibles notablemente bajos;
- d) que se han calculado los criterios de protección para las estaciones terrenas de investigación del espacio lejano y para las estaciones situadas en el espacio lejano que figuran en el Anexo 1;
- e) que se ha calculado la sensibilidad a la interferencia indicada en el Anexo 2,

recomienda

1 que se establezcan los siguientes criterios de protección para las estaciones terrenas de investigación del espacio lejano:

- 222 dB(W/Hz) en bandas cercanas a 2 GHz,
- 221 dB(W/Hz) en bandas cercanas a 8 GHz,
- 220 dB(W/Hz) en bandas cercanas a 13 GHz,
- 217 dB(W/Hz) en bandas cercanas a 32 GHz;

2 que se establezcan los siguientes criterios de protección para estaciones a bordo de vehículos espaciales en el espacio lejano:

- 193 dB(W/20 Hz) en bandas cercanas a 2 GHz,
- 190 dB(W/20 Hz) en bandas cercanas a 7 GHz,
- 186 dB(W/20 Hz) en bandas cercanas a 17 GHz,
- 183 dB(W/20 Hz) en bandas cercanas a 34 GHz;

3 que el cálculo de la interferencia que pueda ser debida a los efectos atmosféricos y las precipitaciones se base en las estadísticas meteorológicas aplicables al 0,001% del tiempo (véase el § 2.3 del Anexo 1).

Anexo 1

Criterios de protección para la investigación del espacio lejano

1 Introducción

En este Anexo se establecen los criterios de protección para la investigación del espacio lejano. Estos criterios pueden utilizarse en los cálculos de la distancia de coordinación o para otros análisis. Los criterios de protección también conciernen a los estudios de compartición dentro del servicio de investigación espacial. Se considera la interferencia posible con otros servicios y se deducen conclusiones sobre la viabilidad de la compartición. En el presente Anexo no se consideran los futuros satélites de retransmisión que se utilizarán con misiones del espacio lejano.

Los criterios de protección se basan en la sensibilidad a la interferencia de los receptores que normalmente se utilizan en la investigación del espacio lejano, tema que se trata en el Anexo 2.

1.1 Efectos y consecuencias de la interferencia

La interferencia que perturba el correcto funcionamiento de un receptor de estación terrena o de estación espacial puede reducir o interrumpir la posibilidad de explotar y controlar un vehículo espacial o de recibir los datos científicos y técnicos enviados por un vehículo espacial.

El receptor contiene varios bucles de sincronización, cada uno de los cuales se engancha y sigue a una componente determinada de la señal. Una interferencia suficientemente intensa hará que uno o varios bucles pierdan el enganche con la señal deseada. Este desenganche puede también producirse por una interferencia momentánea, y su restablecimiento puede llevar varios minutos en el caso de las señales más débiles. En los periodos críticos que aparecen en la mayor parte de las misiones de investigación del espacio lejano, es esencial transmitir y recibir los datos científicos sin errores ni interrupciones. La pérdida de enganche en estos periodos produce una pérdida irrecuperable de datos. Esta característica es la que obliga a imponer requisitos tan severos de protección contra la interferencia. En cambio, es frecuente que los datos de otros servicios radioeléctricos sí puedan retransmitirse.

En algunos modos de operación, las anchuras de banda de los bucles son extraordinariamente estrechas. Un ejemplo concreto es el bucle de seguimiento de portadora en el receptor de la estación terrena. La anchura de banda de este bucle puede ser de sólo 1 Hz y en circunstancias especiales, inferior (300 mHz). Sería pues improbable que una señal interferente se hallase exactamente en esa anchura de banda, pero debe recordarse que la frecuencia de la señal deseada sufre un desplazamiento Doppler a consecuencia de la rotación de la Tierra. Por ejemplo, una señal de 8,4 GHz sufrirá un desplazamiento de ± 11 kHz a lo largo de un periodo de recepción de 24 h por una estación terrena situada a una latitud de 35°. Una señal interferente de frecuencia fija situada en cualquier punto de la gama de la señal del espacio lejano que sufre desplazamiento Doppler parecerá que barre completamente la anchura de banda del bucle de seguimiento de portadora, y puede producirse el desenganche. Por otra parte, la interferencia no tiene que hallarse exactamente en la anchura de banda del bucle para que afecte a éste. Cuando la frecuencia de la interferencia se halla próxima a la anchura

de banda del bucle y tiene suficiente potencia, es posible una grave degradación. La interferencia alejada de la anchura de banda del bucle puede también producir degradación por otros mecanismos, tales como la saturación del máser.

1.2 Elaboración de criterios de protección

Con vistas al correcto funcionamiento de todo el sistema de recepción, deben protegerse contra la interferencia todos y cada uno de los cuatro subsistemas. Un criterio de protección especifica la magnitud de la potencia de interferencia que producirá la máxima degradación aceptable de la calidad de funcionamiento. El Cuadro 1 indica la degradación máxima aceptable en cada subsistema. Empleando estos valores, se puede determinar la máxima interferencia correspondiente.

En los puntos que siguen de este Anexo, se exponen criterios de protección. Para cada uno de los diversos subsistemas de recepción, existe una degradación máxima aceptable de la calidad por efecto de la interferencia. En el Anexo 2 figura la magnitud de interferencia que puede producir esa degradación. La máxima interferencia admisible se determina a partir del subsistema de recepción que sea más sensible a la interferencia. Esta magnitud es el criterio de protección para el receptor completo. Una mayor interferencia resulta perjudicial.

CUADRO 1

Máxima degradación aceptable en los subsistemas de recepción

Subsistema de recepción	Máxima degradación aceptable
Preamplificador máser	Compresión de la ganancia de 1 dB
Seguimiento de portadora	10° de error de fase estático o temblor de fase de cresta del bucle
Telemedida	Reducción equivalente de 1 dB en la relación energía por símbolo/densidad espectral de ruido ($\Delta E/N_0 = -1$ dB)
Determinación de distancia	Reducción equivalente de 1 dB en la relación señal de determinación de distancia/ruido ($\Delta E/N_0 = -1$ dB)

2 Criterios de protección para estaciones terrenas dedicadas al espacio lejano

Existen cuatro subsistemas de recepción que son sensibles a la interferencia: el preamplificador máser, el bucle de seguimiento de portadora, el subsistema de telemedida y el subsistema de determinación de distancia.

2.1 Degradación máxima admisible de la calidad de funcionamiento

La ganancia de un amplificador máser se reduce en función de la potencia de entrada de las señales o interferencias muy intensas. Esta compresión de la ganancia produce un funcionamiento no lineal, con lo que una interferencia intensa puede producir efectos no lineales en la señal deseada, incluida la generación de señales parásitas. Se considera que la máxima compresión de ganancia aceptable es 1 dB. El empleo de la compresión de ganancia como medida de los efectos no lineales está de acuerdo con la práctica común.

La respuesta del bucle de seguimiento de portadora a una interferencia es un aumento del error de fase y del temblor de fase «jitter». Una interferencia muy intensa puede causar la pérdida de enganche. La máxima degradación aceptable se considera que es un aumento de 10° en el error de fase estático o un aumento de 10° en el temblor de fase de cresta.

La degradación de la característica de bits erróneos de la teledada de la exactitud de determinación de la distancia a consecuencia de la interferencia puede expresarse en forma de reducción correspondiente de la relación señal/ruido. La máxima degradación aceptable en el subsistema de teledada corresponde a una reducción de 1 dB en la relación energía por símbolo/densidad espectral de ruido.

La máxima interferencia admisible en cada subsistema del receptor se obtiene a partir de la correspondiente degradación máxima aceptable. El criterio de protección para el receptor completo es la máxima interferencia admisible en el subsistema más sensible.

En el Cuadro 1 se indica la degradación máxima aceptable de la calidad de funcionamiento de cada uno de los cuatro subsistemas de recepción.

2.2 Niveles de interferencia correspondientes a la máxima degradación admisible de la calidad

2.2.1 Preamplificador máser

El Cuadro 2 muestra la potencia de interferencia que causa una compresión de ganancia de 1 dB en el preamplificador máser. El origen de los datos figura en el Anexo 2.

CUADRO 2

Máxima potencia de interferencia admisible para una compresión de ganancia de 1 dB en el preamplificador máser 8,4 GHz

Tipo de interferencia	Fuente de los datos	Interferencia para una compresión de ganancia de 1 dB
Onda continua (CW)	Fig. 2	-114 dBW
Tipo ruido (anchura de banda 40 MHz)	Fig. 2	-190 dB(W/Hz)

2.2.2 Subsistemas de seguimiento de portadora, de teledada y de determinación de distancia

2.2.2.1 Relaciones de interferencia para el seguimiento de portadora, la teledada y la determinación de distancia

El Cuadro 3 muestra las relaciones interferencia/portadora, I/C , interferencia/señal, I/S , o interferencia/ruido, I/N , que corresponden a la degradación admisible de los subsistemas de seguimiento de portadora, de teledada y de determinación de distancia. Las relaciones se determinan como sigue:

Con interferencia de onda continua, la relación de interferencia admisible en cada subsistema puede determinarse directamente con las curvas del Anexo 2.

Con interferencia de tipo ruido causada al bucle de seguimiento de portadora, la Fig. 8 muestra que una reducción del margen de portadora de 10 dB (el típico punto de operación mínimo) a 5,5 dB produce un temblor de fase adicional de 10° . La relación I/N correspondiente viene dada por:

$$I_0 / N_0 = 10 \log [10^{(CM_0/10)} / 10^{(CM_i/10)} - 1] \quad \text{dB}$$

siendo:

I_0/N_0 : relación entre la densidad espectral de ruido de interferencia y la densidad espectral del ruido del receptor

CM_0 : margen de la portadora (dB) sin interferencia

CM_i : margen de la portadora (dB) con interferencia,

y el margen de la portadora es la relación potencia de portadora/potencia de ruido en el bucle de seguimiento de portadora.

Con interferencia de tipo ruido causada a los subsistemas de telemida y de determinación de distancia, la relación I/N admisible viene dada por:

$$I_0/N_0 = 10 \log (10^{(\Delta E/N_0)/10} - 1) \quad \text{dB}$$

siendo:

I_0/N_0 : relación densidad espectral de ruido de interferencia/densidad espectral del ruido del receptor

$\Delta E/N_0$: criterio indicado en el Cuadro 1, de la reducción equivalente de la relación energía por símbolo/densidad espectral de ruido o señal/ruido.

CUADRO 3

Valores máximos admisibles de I/C , I/S o I/N para interferencia de CW y de tipo ruido

Subsistema (criterio)	Tipo de interferencia	Fuente de los datos	Relación de interferencia máxima
<i>Seguimiento de portadora</i> (Incremento de 10° en el temblor de fase de cresta)	CW	Fig. 3	$I/C = -15$ dB
	Tipo ruido	Fig. 8 y cálculos	$I_0/N_0 = +2,3$ dB
<i>Telemida</i> (E/N_0 de 1 dB por efecto de interferencia en el bucle de seguimiento de portadora)	CW	Fig. 5	$I/C = -1,5$ dB
<i>Telemida</i> (E/N_0 de 1 dB por efecto de interferencia en la anchura de banda de detección de telemida)	CW	Fig. 4	$I/S = -11$ dB
	Tipo ruido	Cálculo	$I/N = -5,9$ dB
<i>Determinación de distancia</i> (E/N_0 de 1 dB por efecto de interferencia en el bucle de seguimiento de portadora)	CW	Fig. 6	$I/C = -5$ dB
<i>Determinación de distancia</i> (E/N_0 de 1 dB por efecto de interferencia en la anchura de banda del estimador de distancias)	CW	Fig. 7	$I/S = -7,1$ dB
	Tipo ruido	Cálculo	$I_0/N_0 = -5,9$ dB

2.2.2.2 Máxima interferencia admisible en el seguimiento de portadora, la telemida y la determinación de distancia

Con interferencia de onda continua, la máxima interferencia admisible depende de la I/C (I/S) y del nivel mínimo de portadora (señal) determinado por el punto de diseño del receptor. Si se supone que las potencias de las señales portadora, de telemida y de determinación de distancia son iguales, el Cuadro 3 muestra que la máxima interferencia de onda continua admisible viene impuesta por el bucle de seguimiento de portadora, que es el que exige la I/C más pequeña.

En el seguimiento de portadora, la relación mínima portadora/ruido es de 10 dB. La correspondiente potencia de interferencia admisible para interferencia de tipo ruido es:

$$P_i = N_0 + 10 \log B + 10 + I/C$$

siendo:

P_i : máxima potencia de interferencia admisible en el seguimiento de la portadora (dBW)

N_0 : densidad espectral de ruido del receptor, indicada en el Cuadro 4 (dB(W/Hz))

B : anchura de banda del bucle de seguimiento de la portadora, que se supone de 1 Hz

I/C : relación interferencia/portadora, que se indica en el Cuadro 3 (dB).

Los resultados de esos cálculos se indican en el Cuadro 4.

CUADRO 4

Máxima potencia de interferencia admisible causada a los receptores de estación terrena

Banda (GHz)	Densidad espectral de ruido del receptor (dB(W/Hz))	Máxima potencia de interferencia de CW (dBW)	Máxima densidad espectral de potencia de interferencia de tipo ruido (dB(W/Hz))
2,29-2,30	-216,6	-221,6	-222,5
8,40-8,45	-215,0	-220,0	-220,9
12,75-13,25	-214,6	-219,6	-220,5
31,8-32,3	-211,4	-216,4	-217,3

2.3 Criterios de protección en los receptores de estaciones terrenas que trabajan con el espacio lejano

El Cuadro 5 indica la interferencia máxima con la que no se rebasará la degradación admisible de la característica de funcionamiento de los receptores de estación terrena. Estos valores constituyen los criterios de protección para los receptores de las estaciones terrenas que trabajan con el espacio lejano: una interferencia mayor es perjudicial. También se incluye el valor correspondiente de la densidad espectral de flujo de potencia en la abertura de una antena de 70 m. La antena tiene una eficacia de superficie aproximada del 70% para las bandas inferiores y 40% a 32 GHz.

CUADRO 5

Protección contra la interferencia de los receptores de estaciones terrenas para el espacio lejano

Banda (GHz)	Máxima densidad espectral de potencia de interferencia admisible (dB(W/Hz))	Máxima densidad espectral de flujo de potencia de interferencia admisible (dB(W/m ² · Hz))
2,29-2,30	-222,5	-257,0
8,40-8,45	-220,9	-255,1
12,75-13,25	-220,5	-254,3
31,8-32,3	-217,3	-249,3

Para proteger los receptores de estación terrena, la densidad espectral de potencia de la interferencia de tipo ruido o la potencia total de interferencia de onda continua no deberán rebasar el valor indicado en el Cuadro 5 durante un tiempo total de cinco minutos de cualquier día.

Para obtener la zona de coordinación de una estación terrena, hay que considerar la propagación debida a la fluctuación de las condiciones meteorológicas. Para limitar a menos de 5 min durante cualquier día del año las interrupciones del servicio debidas al aumento de la propagación transhorizonte, es necesario prever la propagación en la hora peor meteorológica del año y en los peores 5 min de dicha hora. Esta condición corresponde al 0,001% del tiempo.

El Apéndice 7 al Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) muestra que la aplicación de la condición meteorológica del 0,001% conduce a una distancia de coordinación ligeramente mayor a la necesaria para un servicio capaz de tolerar interrupciones mayores.

3 Criterios de protección de las estaciones del espacio lejano

Los receptores de estación espacial y de estación terrena para la investigación del espacio lejano funcionan de manera similar, salvo en cuanto a que la estación espacial no incluye un máser. Las estaciones espaciales son sensibles a la interferencia en una forma análoga a la descrita para las estaciones terrenas.

El criterio para la protección de los receptores de estación del espacio lejano es el siguiente: la potencia interferente no deberá ser superior a la potencia de ruido del receptor. En comparación con los criterios para los receptores de estación terrena para el espacio lejano, éste es menos riguroso y se debe a que los márgenes de funcionamiento suelen ser más amplios en el enlace Tierra-espacio. Para la protección de estaciones del espacio lejano, la densidad espectral de potencia de las señales interferentes de banda ancha, o la potencia total de la señal interferente de onda continua, en cualquier banda de 20 Hz, no debe ser superior al valor indicado en el Cuadro 6 en los terminales de entrada del receptor: una interferencia superior es perjudicial. La anchura de banda de 20 Hz especificada equivale a la anchura de banda del bucle de seguimiento de la portadora del transpondedor del vehículo espacial, para una intensidad de umbral de la señal. Los valores de la temperatura de ruido mostrados en el Cuadro 6, corresponden a cálculos de sistemas actuales prácticos que podrían utilizarse en el espacio lejano.

CUADRO 6

Protección de receptores para el espacio lejano contra la interferencia

Banda (GHz)	Temperatura de ruido del receptor (K)	Máxima densidad espectral de potencia de interferencia admisible (dB(W/Hz))
2,11-2,12	200	-192,6
7,145-7,190	330	-190,4
16,6-17,1	910	-186,0
34,2-34,7	2 000	-182,6

Anexo 2

Sensibilidad a la interferencia de los sistemas de recepción para la investigación del espacio lejano

1 Introducción

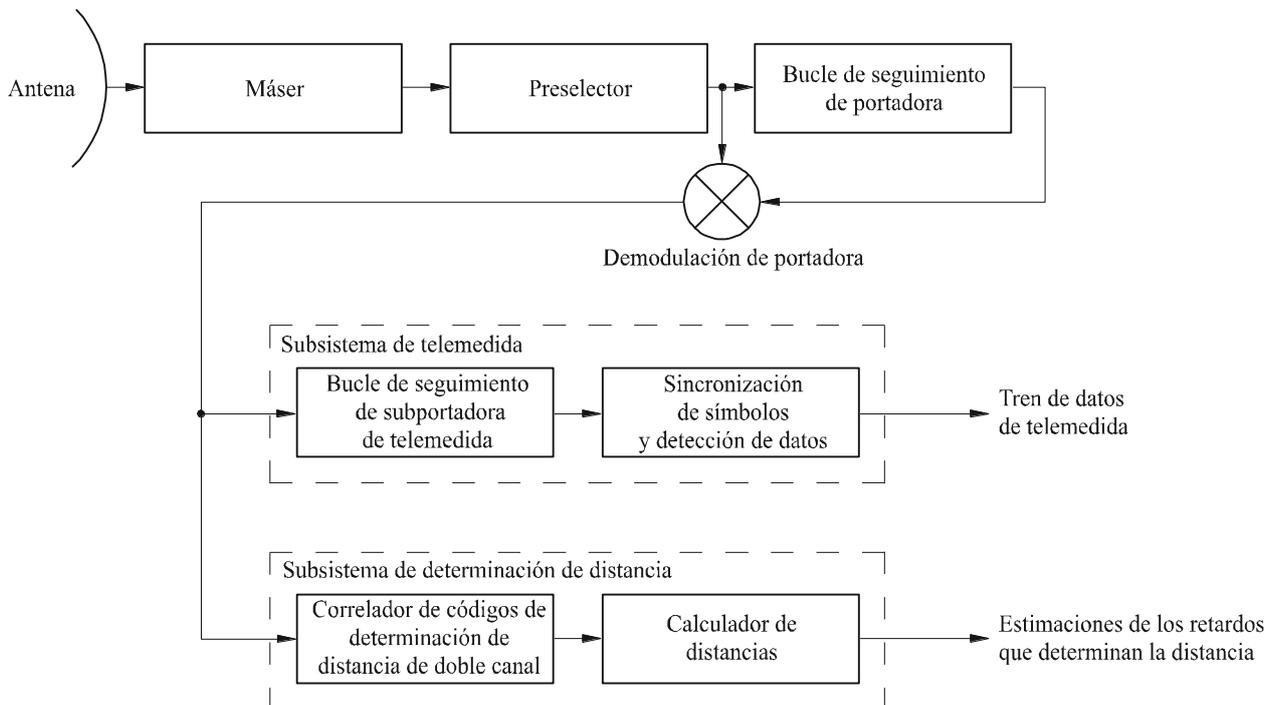
Este Anexo presenta información sobre la sensibilidad a la interferencia de los sistemas de recepción utilizados en las radiocomunicaciones de investigación del espacio lejano. Se consideran dos clases de interferencia: onda continua y tipo ruido. Los sistemas de recepción concretos que se han analizado son los de la red del espacio lejano (DSN, *deep space network*) que existe en los Estados Unidos de América.

2 El sistema de recepción

El sistema de recepción incluye cuatro elementos principales, todos y cada uno de los cuales deben protegerse contra la interferencia: el preamplificador máser, el bucle de seguimiento de portadora, el subsistema de teledeteción y el subsistema de determinación de distancia. La sensibilidad de cada uno de estos subsistemas a la interferencia se tratará en el § 4 que aparece a continuación. La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques simplificado del sistema de recepción.

FIGURA 1

Diagrama de bloques funcional simplificado de un sistema de recepción típico de una red de espacio lejano



3 Resultados de la interferencia

La interferencia puede producir degradación de la característica de funcionamiento, funcionamiento no lineal o pérdida de datos. El efecto de la interferencia depende de su intensidad y de la separación de frecuencia con respecto a la señal deseada.

A niveles de potencia débiles a moderados, la interferencia cocanal puede aumentar el error de fase estático y el temblor de fase del bucle de seguimiento de portadora, aumentar la proporción de bits erróneos de la teledada o reducir la precisión de la estimación de la distancia. Esta degradación de la característica de funcionamiento puede expresarse generalmente como una reducción equivalente de la relación señal/ruido y compensarse en teoría aumentando el nivel de potencia de la señal deseada. En la práctica, la potencia de la señal deseada no suele ser ajustable.

Una interferencia intensa de gran separación de frecuencia con relación a la señal deseada puede producir una degradación de la característica de funcionamiento y arrastrar simultáneamente a uno o más de los componentes del receptor a una región no lineal, lo que da lugar a compresión de la ganancia y a la generación de armónicos, señales parásitas y productos de intermodulación. Los efectos no lineales se denominan colectivamente efectos de saturación. A diferencia de la degradación de la característica de funcionamiento, los efectos de saturación no pueden generalmente compensarse ni siquiera aumentando el nivel de potencia de la señal deseada.

La interferencia intensa con una pequeña separación de frecuencia respecto a la señal deseada puede provocar la pérdida de enganche o de sincronización del sistema de recepción, dando lugar a una pérdida total de datos.

4 Efectos de la interferencia de onda continua

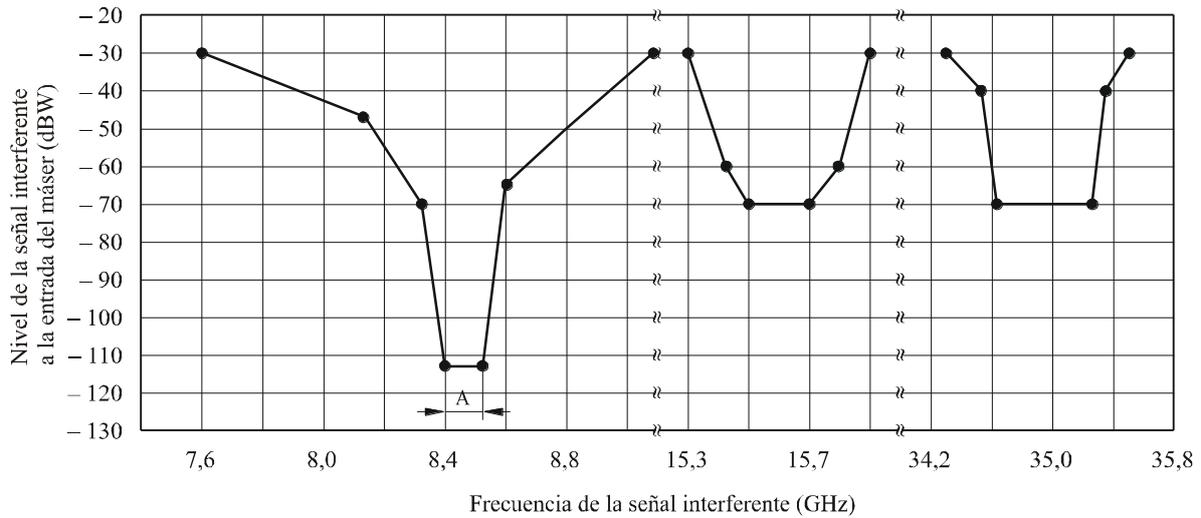
Los efectos específicos de la interferencia se tratarán en los puntos que siguen para cada uno de los cuatro subsistemas de recepción. Aunque el sistema de recepción es sumamente sensible a la interferencia cocanal, la interferencia de canal adyacente e incluso fuera de banda puede a veces causar efectos perjudiciales. Interferencia cocanal es aquella cuya frecuencia se halla dentro de la banda de paso del subsistema. La frecuencia de la interferencia se supone fija a menos que se indique otra cosa.

4.1 Sensibilidad del preamplificador máser a la interferencia

El máser es especialmente sensible a la saturación (compresión de la ganancia) que producen las señales intensas, en particular si la interferencia tiene una frecuencia dentro o cerca de la banda de paso del máser o de las frecuencias menos activas del máser. La Fig. 2 muestra la potencia de interferencia que produce una compresión de la ganancia de 1 dB para un máser típico en la banda de 8,4 GHz.

FIGURA 2

Nivel de señal necesario para reducir la ganancia de un máser de 8,45 GHz en 1 dB, en función de la frecuencia



Tipo de interferencia RF: CW
A: banda de paso de la señal del máser

1157-02

4.2 Sensibilidad del bucle de seguimiento de portadora a la interferencia de onda continua

El bucle de seguimiento de portadora es un doble bucle de seguimiento heterodino que emplea un bucle de CAG (control automático de ganancia) con detector síncrono y un bucle de enganche de fase de segundo orden precedido por un limitador de banda de paso.

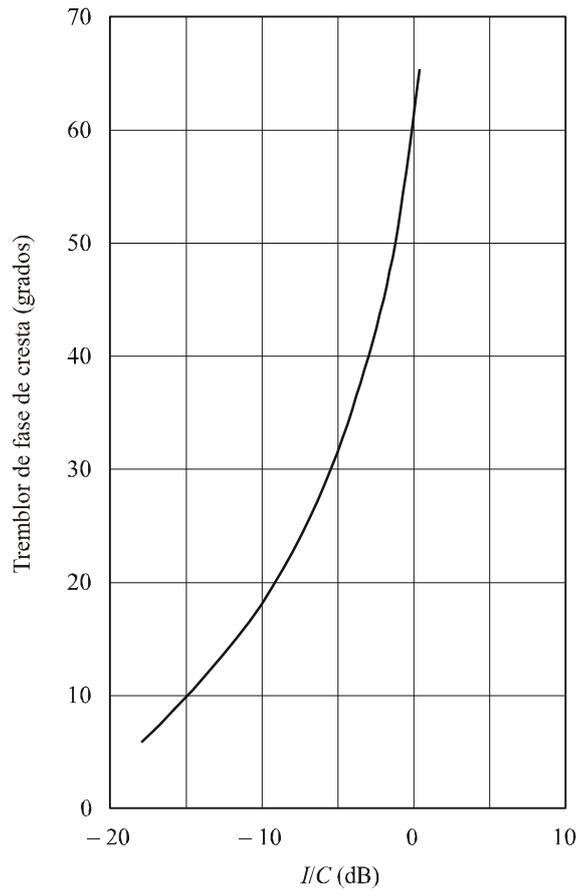
La interferencia intensa puede hacer que el bucle pierda la señal deseada o quede enganchado a la interferencia. La interferencia de onda continua, sea de frecuencia fija o de barrido (frecuencia variable), puede producir este efecto. Si la frecuencia de la interferencia varía, el bucle puede primero desengancharse de la señal deseada y engancharse luego a la interferencia a medida que ésta va acercándose a la frecuencia de la señal deseada. Una vez que la interferencia pasa por la frecuencia y se aleja de ella, el bucle se desengancha de la interferencia y puede reengancharse luego a la señal deseada. El tiempo que tarda el bucle en reengancharse a la señal deseada depende de la intensidad de la señal y de la interferencia y de la velocidad de barrido, y puede variar de segundos a minutos. Si la interferencia es de frecuencia fija, es posible que el reenganche con la señal deseada no llegue a producirse.

A un nivel más débil, la interferencia puede aumentar el error de fase estático y el temblor de fase en el bucle lo cual ocurre con interferencia tanto fija como de barrido.

La Fig. 3 muestra el temblor de fase de cresta en función de la relación $CW I/C$.

FIGURA 3

Temblor de fase de cresta en función de la relación I/C



Tipo de interferencia: CW

1157-03

4.3 Sensibilidad del subsistema de recepción de teledifusión a la interferencia de onda continua

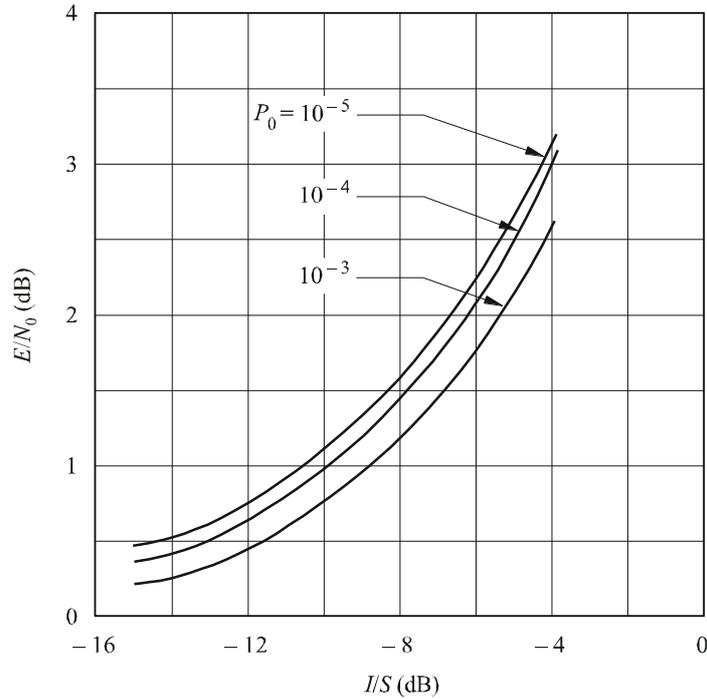
La degradación de la teledifusión puede expresarse como una reducción equivalente de la relación energía por símbolo/densidad espectral de ruido, $\Delta E/N_0$, que se define como la magnitud en que tendría que reducirse la relación energía por símbolo/densidad espectral de ruido en ausencia de interferencia para obtener una proporción de símbolos erróneos igual a la que existe en presencia de interferencia.

La relación $\Delta E/N_0$ que produce la interferencia de onda continua situada dentro de la anchura de banda de detección de teledifusión se indica en la Fig. 4.

La calidad de funcionamiento de la teledifusión puede también sufrir degradación por interferencia de onda continua situada dentro de la anchura de banda del bucle de portadora. La Fig. 5 muestra la relación E/N_0 por efecto del temblor de fase en el bucle de portadora en función de la relación I/C , para un desplazamiento de frecuencia de 10 Hz y para un modo de recepción típico que opera en la banda de 8,4 GHz.

FIGURA 4

Reducción equivalente de la relación señal de teledifusión/ruido, E/N_0 , por el efecto de interferencia en el canal de teledifusión, en función de la relación I/S , para diferentes valores de la probabilidad de símbolos erróneos, P_0

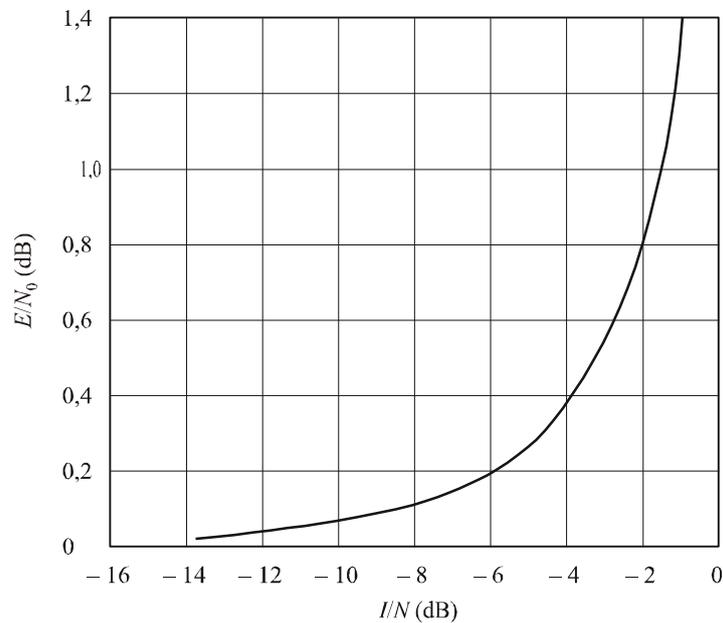


Tipo de interferencia: CW
 P_0 : probabilidad de símbolos erróneos

1157-04

FIGURA 5

Reducción equivalente de la relación señal de teledifusión/ruido, E/N_0 , por efecto del error de fase y temblor de fase en el bucle de portadora, en función de la relación I/N



Tipo de interferencia: CW
 Banda = 8,45 GHz
 Desplazamiento de frecuencia = 10 Hz

1157-05

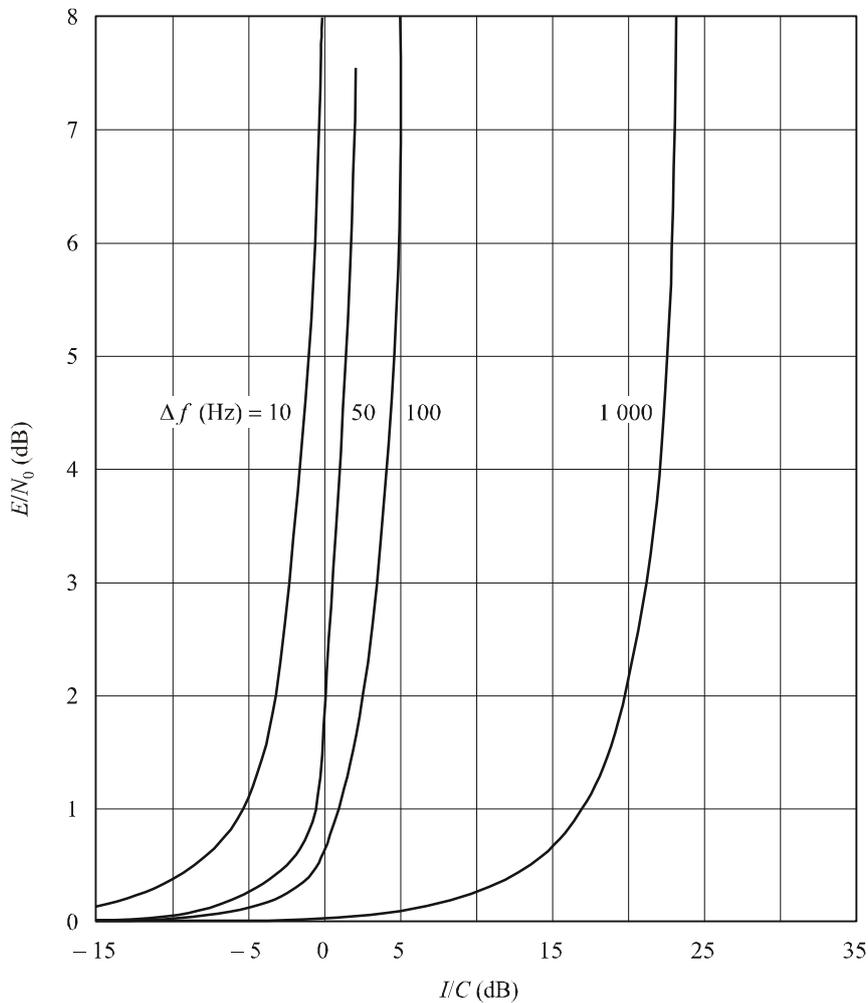
4.4 Sensibilidad del subsistema de determinación de distancia a la interferencia RF de onda continua

La interferencia puede degradar la característica de funcionamiento del subsistema de determinación de distancia al aumentar la varianza de las estimaciones de los retardos que determinan la distancia. La degradación puede expresarse en forma de reducción equivalente de la relación señal/ruido efectiva de determinación de distancia.

La interferencia de onda continua en la anchura de banda del bucle de seguimiento de portadora afecta a la característica de funcionamiento del sistema de determinación de distancia, como se muestra en la Fig. 6. El efecto de la interferencia de onda continua en la anchura de banda de la señal de determinación de distancia se muestra en la Fig. 7. La I/S es la relación interferencia/señal de determinación de distancia.

FIGURA 6

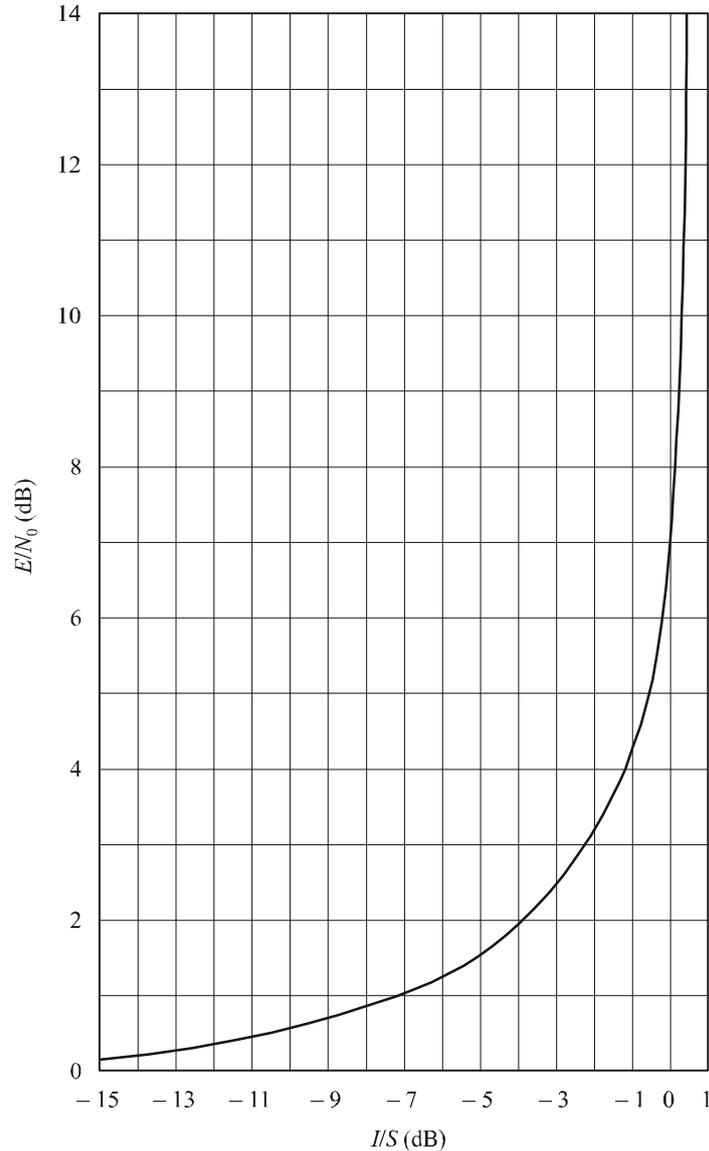
Reducción equivalente en la relación señal de determinación de distancia/ruido, E/N_0 , por efecto de error de fase y temblor de fase en el bucle de portadora, en función de la relación I/C para diferentes valores del desplazamiento de frecuencia



Tipo de interferencia: CW
 Banda = 8,45 GHz
 Δf : desplazamiento de frecuencia

FIGURA 7

Reducción equivalente de la relación señal de determinación de distancia/ruido por el efecto de interferencia en el canal de determinación de distancia, en función de la relación I/S



Tipo de interferencia: CW

1157-07

5 Efectos de la interferencia de tipo ruido

La interferencia de tipo ruido puede saturar el preamplificador máser y degradar la característica de funcionamiento del bucle de seguimiento de portadora, del subsistema de telemida y del subsistema de determinación de distancia. Para producir una compresión de ganancia del máser de 1 dB, la densidad espectral de la interferencia de tipo ruido, I_0 tendría que ser -190 dB(W/Hz), suponiendo una anchura de banda del máser de 40 MHz.

En el bucle de seguimiento de portadora, el temblor de fase de cresta depende del margen de portadora (Fig. 8). La interferencia de tipo ruido reduce el margen de portadora y aumenta por tanto el temblor de fase. El margen de portadora está relacionado con I_0/N_0 por la expresión:

$$CM_i = CM_0 + 10 \log (1 + I_0/N_0)^{-1}$$

donde:

CM_i : margen de portadora (dB) en presencia de interferencia

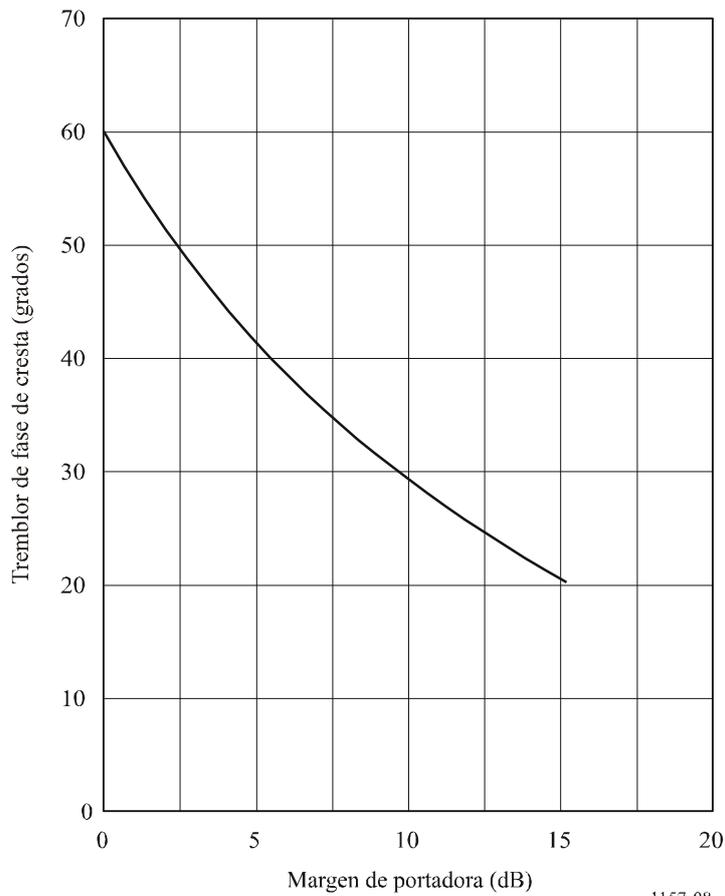
CM_0 : margen (dB) sin interferencia

I_0/N_0 : relación densidad espectral de la interferencia/densidad espectral de ruido.

Dado un determinado margen de portadora sin interferencia, y el aumento aceptable del temblor de fase, la Fig. 8 y la expresión anterior permiten calcular la relación I_0/N_0 . Por ejemplo, para un margen típico de 10 dB, la interferencia causará un aumento de 10° en el temblor de fase de cresta, lo que reducirá el margen a 5,5 dB. La relación I_0/N_0 en esta circunstancia es de 2,6 dB.

FIGURA 8

Temblor de fase de cresta en función del margen de portadora



La interferencia de ruido en los subsistemas de teledirigida y de determinación de distancia reduce la relación energía por símbolo/densidad espectral ruido efectiva y aumenta por tanto la proporción de errores de teledirigida y la varianza en la estimación del retardo para la determinación de la distancia.

La reducción de la relación energía por símbolo/densidad espectral de ruido equivalente, $\Delta E/N_0$, puede expresarse por:

$$\Delta E/N_0 = 10 \log (1 + I_0/N_0) \quad \text{dB}$$

donde I_0/N_0 es la relación densidad espectral de la interferencia/densidad espectral de ruido. Conociendo la reducción aceptable de la relación E/N_0 , puede calcularse la relación I_0/N_0 correspondiente.
