

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1477 (05/2000)

Características técnicas y de calidad de funcionamiento de los receptores actuales y proyectados del servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra) y del servicio de radionavegación aeronáutica que han de considerarse en los estudios de interferencia en la banda 1 559- 1 610 MHz

Serie M

Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1477*

Características técnicas y de calidad de funcionamiento de los receptores actuales y proyectados del servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra) y del servicio de radionavegación aeronáutica que han de considerarse en los estudios de interferencia en la banda 1 559-1 610 MHz

(Cuestiones UIT-R 91/8 y UIT-R 217/8)

(2000)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la banda 1 559-1 610 MHz está atribuida a título primario al SRNS (espacio-Tierra) y al SRNA;
- b) que las Recomendaciones UIT-R M.1088 y UIT-R M.1317 proporcionan las características y descripciones de varios tipos de receptores que se utilizan con los sistemas de radionavegación por satélite, conocidos como GPS y GLONASS;
- c) que hay una necesidad fundamental de proteger los sistemas que funcionan en el SRNA y el SRNS en la banda 1 559-1 610 MHz;
- d) que existen los servicios de seguridad de la navegación GPS y GLONASS para diversas aplicaciones que incluyen aplicaciones aeronáuticas, terrestres y marítimas, y que el uso de estos servicios experimentará una expansión en el futuro;
- e) que toda estación terrena adecuadamente equipada puede recibir información de navegación procedente de los sistemas GPS, GLONASS y otros sistemas del SRNS a nivel mundial;
- f) que la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) está desarrollando normas para el GNSS, cuyos elementos incluyen el GPS y el GLONASS;
- g) que la Organización Marítima Internacional (OMI) requiere el equipamiento de los barcos con SRNS para la navegación por vías de agua estrechas y para el atracado en los muelles;
- h) que en el número 4.10 del RR se establece que los aspectos relativos a la seguridad de la vida humana de los servicios de navegación y de otros servicios de seguridad, precisan medidas especiales que garanticen que se encuentran libres de interferencia perjudicial (véase también el número 1.169 del RR),

reconociendo

- a) que existen algunos receptores del GPS y sus versiones mejoradas utilizadas en aplicaciones de seguridad de la vida humana que procesan las señales GPS de diferentes modos, que se describen en el Anexo 1, dentro de la banda de funcionamiento de los servicios SRNS/SRNA;

* La Comisión de Estudio 8 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2004 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

- b) que hay cierto número de receptores del GLONASS utilizados en aplicaciones de seguridad de la vida humana que procesan las señales GLONASS de diferentes modos, que se describen en el Anexo 2, dentro de la banda de funcionamiento de los servicios SRNS/SRNA;
- c) que en el momento actual, las Normas y prácticas recomendadas (SARP) de la OACI no reconocen la utilización en naves espaciales a escala mundial de las señales de banda ancha del GPS o el GLONASS, ni el uso de frecuencias portadoras por encima de 1 604,25 MHz, a partir del año 2005;
- d) que hay cierto número de versiones mejoradas existentes y proyectadas del GPS y el GLONASS que soportan servicios de seguridad de la vida humana en la navegación aeronáutica y en otros entornos;
- e) que hay un gran número de aplicaciones GNSS no aeronáuticas que se utilizan como apoyo, tanto de servicios de seguridad de la vida humana como de servicios distintos de la seguridad de la vida humana;
- f) que la Recomendación UIT-R M.1343 define los requisitos técnicos fundamentales de las estaciones terrenas móviles (ETM) de los sistemas del SMS no OSG en las bandas 1-3 GHz,

recomienda

- 1 que para los análisis de interferencia que incluyen los servicios SRNA y SRNS en la banda 1 559-1 610 MHz se utilicen las características de los receptores descritos en los Anexos 1 a 4 (véase la Nota 1);
- 2 que en los análisis de interferencia debe aplicarse un margen de seguridad, tal como se estudia en el Anexo 5, para la protección de los aspectos y aplicaciones relativos a la seguridad de la vida humana del servicio SRNS y el servicio SRNA.

NOTA 1 – Esta Recomendación no se utilizará como base de futuras modificaciones de los niveles máximos de las emisiones no deseadas en la banda 1 559-1 610 MHz que se establecen en los Anexos a la Recomendación UIT-R M.1343. Los niveles máximos de las emisiones no deseadas para la banda 1 559-1 610 MHz establecidos en la Recomendación UIT-R M.1343 han sido formulados de conformidad con un escenario de interferencia específico, y no son aplicables a cualquier otro servicio distinto de las ETM del SMS que funcionan en la gama 1-3 GHz sin un estudio adicional.

Anexo 1

Características del receptor GPS y de la señal

1 Características del receptor GPS

En el presente Anexo se describen varios tipos de receptores GPS. Hay tres receptores aeronáuticos cuyos requisitos se han desarrollado relativamente bien. Cada uno de estos receptores tiene su contraparte en las aplicaciones terrestres y/o marítimas, y se pretende que las características establecidas en este Anexo se apliquen a los receptores GPS que se utilizan en tales aplicaciones. En este momento se desconoce si las aplicaciones distintas de la aviación son más susceptibles a la interferencia o menos, y el grado en que lo serán las aplicaciones futuras, considerando tanto el GPS actual con sus versiones mejoradas como las evoluciones del GPS.

El primer receptor aeronáutico es un receptor de navegación civil diseñado para proporcionar la guía de aproximación de precisión de categoría I. Debe cumplir los requisitos de la especificación de un sistema de mejora situado en el satélite (SBAS, *satellite-based augmentation system*). Debe realizar un seguimiento, tanto de los satélites con GPS como de los satélites con SBAS que tengan códigos similares al GPS y transmitan en la misma frecuencia central de 1 575,42 MHz. La señal SBAS se modula con datos a una velocidad de símbolos de 500 bit/s, y se decodifica mediante un esquema convolucional para obtener la información de salida a una velocidad de 250 bit/s.

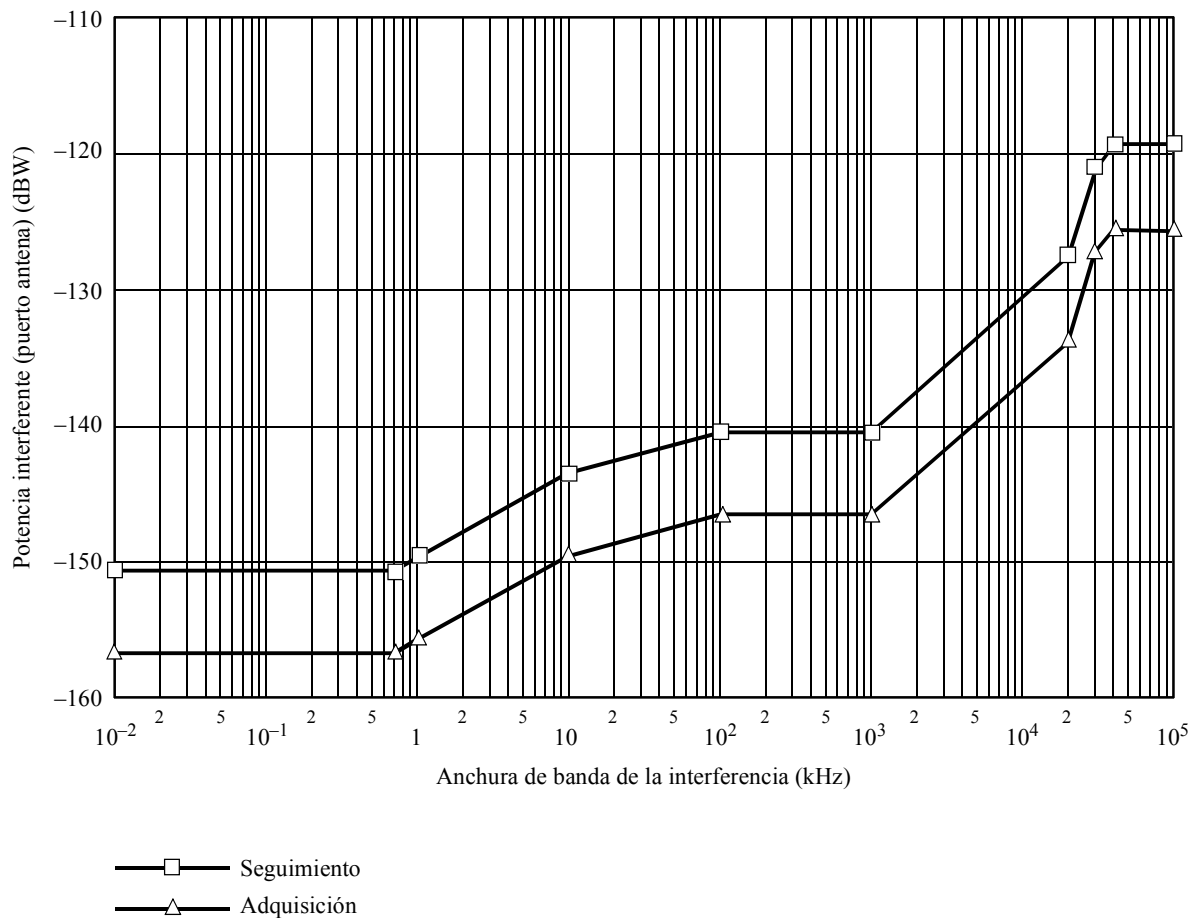
El segundo receptor aeronáutico, es un receptor de navegación aérea diseñado para proporcionar una guía de aproximación de precisión de las categorías II/III. Debe cumplir los requisitos de un sistema mejorado situado en tierra (GBAS, *ground-based augmentation system*). Realizará un seguimiento de los satélites GPS y los pseudolites. Los pseudolites son transmisores situados en tierra que emiten una señal de las mismas características que el GPS, pero con códigos de ensanchamiento del espectro diferentes. Actualmente, se están estudiando pseudolites de banda ancha y de banda estrecha. Los pseudolites de banda ancha emiten un código similar al código Y (véase la Nota 1), de modo que la señal tiene las características espectrales del código Y. Los pseudolites emiten impulsos con un ciclo de trabajo inferior al 4%. Los pseudolites de banda estrecha emiten una señal con características de código C/A, desplazada de la frecuencia central L1 en $\pm 10,23$ MHz (la banda L1 se encuentra en 1 559-1 610 MHz). Estos últimos pseudolites emiten impulsos con un ciclo de trabajo del 9% aproximadamente.

NOTA 1 – El código Y es un código P modificado, que tiene la misma frecuencia de segmentación y las mismas características espectrales que el código P.

El tercer receptor es un receptor situado en tierra que se utiliza en las operaciones del SBAS para determinar los retardos de la propagación ionosférica. Se utiliza también para aplicaciones en tierra distintas de la SBAS. El receptor utiliza una técnica de codificación parcial, que explota una característica exclusiva de la arquitectura GPS, por medio de la cual las señales de código Y de L2 (la banda L2 se encuentra en 1 215-1 260 MHz) y L1 son sometidas a una correlación cruzada para obtener una medición del retardo de la señal en L2, haciendo posible de este modo la determinación del retardo de la señal causado por la ionosfera. El esquema de correlación cruzada es posible porque las señales L1 y L2 del GPS tienen códigos idénticos. Este receptor debe efectuar la adquisición y seguimiento de ambos satélites GPS y SBAS en L1. Los receptores de codificación parcial (semi-codeless) son más susceptibles a la interferencia porque operan sin la ventaja de conocer el código Y.

En las descripciones que siguen, los niveles de potencia a la entrada de la antena se refieren a la potencia que recibirá una antena isótropa con una polarización circular adecuada, mientras que los niveles a la salida de la antena se refieren a la potencia teniendo en cuenta la ganancia de la antena en la dirección de la señal o fuente interferente específica. En la Fig. 1 se presenta la especificación de los niveles y anchuras de banda de la interferencia.

FIGURA 1
Umbral de la interferencia combinada para los receptores de la navegación aérea SBAS y GBAS



1477-01

Los niveles máximos de interferencia que aparecen en los Cuadros 1 a 10 no se refieren al nivel de interferencia admisible, sino a los niveles de interferencia que los fabricantes deben tener en cuenta al diseñar el equipo, de modo que éste soporte dicho nivel mientras cumpla los requisitos de calidad de funcionamiento. El nivel de interferencia admisible total procedente de fuentes conocidas debe encontrarse muy por debajo de este valor, es decir, ha de haber un margen de seguridad (véase el Anexo 5). Este margen tendrá en cuenta las posibles variaciones en la calidad de funcionamiento del receptor GNSS y las fuentes desconocidas de interferencia.

1.1 Receptor de vehículo terrestre y de navegación marítima

Los receptores de vehículos terrestres y los de la navegación marítima se diseñan para proporcionar una guía medición de nivel, utilizando correcciones diferenciales obtenidas a partir de alguno de los sistemas mejorados del GPS, que incluyen los sistemas SBAS, las redes de radiobalizas y otras difusiones de área local que utilizan una frecuencia entre varias tomadas de las bandas de ondas decamétricas a ondas decimétricas. Sus características son similares a las del primer receptor aeronáutico descrito anteriormente.

1.2 Receptores de codificación parcial

Los receptores GPS de codificación parcial utilizan una técnica exclusiva del GPS, mediante la cual, las señales de código Y L1 y L2 son sometidas a una correlación cruzada para que

proporcionen una estimación del retardo de propagación ionosférica o un conjunto independiente de mediciones de la fase de la portadora que ayuden a eliminar de una manera rápida las ambigüedades relativas a la longitud de onda, incluso cuando el receptor se encuentre en movimiento. Este proceso proporciona una mayor precisión de la posición. El esquema de correlación cruzada es posible porque L1 y L2 tienen códigos Y sincronizados e idénticos. Este receptor tendrá características análogas a las del tercer receptor aeronáutico descrito anteriormente, pero puede diferir del mismo en su susceptibilidad a la interferencia.

CUADRO 1

Receptor de navegación aérea SBAS para operaciones de aproximación de precisión de categoría I

Frecuencia central de la portadora, L1	1 575,42 MHz
Frecuencia de chips del código, C/A	1,023 Mbit/s
Velocidad de datos de navegación, GPS	50 bit/s
Velocidad de datos de navegación, SBAS, con una FEC, en velocidad de 1/2	500 símbolos/s
Tasa de errores en las palabras (1 palabra = 250 bits de información)	10^{-3} por s
Nivel de potencia recibido mínimo a la entrada de la antena, SBAS	-161 dBW
Ganancia mínima de la antena hacia el satélite con un ángulo de elevación de 5°	-4,5 dBic
Ganancia máxima de la antena en el hemisferio superior	+7 dBic
Ganancia supuesta de la antena en el hemisferio inferior	-10 dBic
Anchura de banda máxima de 3 dB del filtro anterior al correlador ⁽¹⁾	$\pm 16,5$ MHz
Factor de ruido del receptor	4,4 dB
Tiempo de recuperación de sobrecarga del impulso de RF	25×10^{-6} s
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-140,5 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-146,5 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-150,5 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-156,5 dBW

(1) Puede ser necesario un filtro anterior al correlador más exigente para proteger el funcionamiento del receptor de las emisiones de RF de la banda adyacente.

(2) El umbral de interferencia tiene ya en cuenta los efectos de la interferencia intrasistema en el análisis de código aleatorio del GPS. Véase el § 2. El umbral debe tener en cuenta las demás interferencias combinadas. La aplicabilidad de un margen de seguridad se examina en el Anexo 5.

(3) La anchura de banda de la interferencia de banda ancha es de 100 kHz a 1 MHz; la anchura de banda de la interferencia de banda estrecha es menor o igual a 700 Hz. En la Fig. 1 se puede ver la anchura de banda en los demás casos.

1.3 Receptores de redes terrestres comerciales

Algunos receptores de las redes terrestres comerciales operan en una frecuencia única, en cuyo caso tendrán características similares a las del primer receptor aeronáutico descrito. En las redes comerciales pueden también utilizarse receptores de dos frecuencias. En este caso, sus características son similares a las del tercer receptor aeronáutico, salvo que, en lugar de realizar los cálculos correspondientes a la fase de la portadora, se procesan las señales L1 y L2 sometidas a una correlación cruzada para determinar el retardo de la propagación ionosférica de las señales. Esta información es utilizada por la red para mejorar la exactitud en una región extensa.

2 Metodología del análisis

Se presenta una metodología del análisis que muestra que, en las condiciones del caso más desfavorable, la completa disponibilidad del servicio GPS en presencia de interferencia externa adicional no puede ser satisfecha debido a los efectos de la autointerferencia cocanal de código C/A. En el presente Anexo se desarrolla un modelo de reducción de estos eventos específicos de la ubicación y del tiempo. Se ha llevado a cabo una validación experimental preliminar de los resultados (que no se muestra) y se están realizando pruebas adicionales.

CUADRO 2

Receptor de navegación aérea GBAS para operaciones de aproximación de precisión de categorías II/III

Portadora L1, frecuencia de pseudolite de banda ancha	1 575,42 MHz
Frecuencia portadora de pseudolite de banda estrecha	L1 \pm 10,23 MHz
Código C/A, frecuencia de chips de pseudolite de banda estrecha	1,023 Mbit/s
Frecuencia de chips de pseudolite de banda ancha	10,23 Mbit/s
Velocidad de datos de navegación, GPS	50 bit/s
Nivel de potencia de código C/A recibido mínimo a la entrada de la antena	-161 dBW
Nivel de potencia de pseudolite de banda ancha medio mínimo a la entrada de la antena	-140 dBW
Nivel de potencia de pseudolite de banda estrecha medio mínimo a la entrada de la antena	-140 dBW
Ganancia mínima de la antena hacia el pseudolite	-21 dBic
Ganancia mínima de la antena hacia el satélite del GPS con un ángulo de elevación de 5°	-4,5 dBic
Ganancia máxima de la antena en el hemisferio superior	+7 dBic
Anchura de banda máxima de 3 dB del filtro anterior al correlador ⁽¹⁾	\pm 16,5 MHz
Factor de ruido del receptor	4,4 dB
Tiempo de recuperación de sobrecarga del impulso de RF	25×10^{-6} s
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-140,5 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-146,5 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-150,5 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-156,5 dBW

(1) Puede ser necesario un filtro anterior al correlador más exigente para proteger el funcionamiento del receptor de las emisiones de RF de la banda adyacente.

(2) El umbral de interferencia tiene ya en cuenta los efectos de la interferencia intrasistema en el análisis de código aleatorio del GPS. El umbral debe tener en cuenta las demás interferencias combinadas. La aplicabilidad de un margen de seguridad se examina en el Anexo 5.

(3) La anchura de banda de la interferencia de banda ancha es de 100 kHz a 1 MHz; la anchura de banda de la interferencia de banda estrecha es menor o igual a 700 Hz. En la Fig. 1 se puede ver la anchura de banda en los demás casos.

2.1 Interferencia en el mismo servicio

En un análisis que pretenda determinar el efecto de la interferencia externa en el GPS, deben examinarse en primer lugar cuidadosamente los efectos del ruido térmico y la interferencia causada por las señales GPS. Con ello se establece una línea de base para el GPS que produce interferencia en el mismo servicio o interferencia intrasistema, a la cual deben añadirse las señales procedentes de otros sistemas de búsqueda de ubicaciones. Se admite que pueden aplicarse criterios diferentes a

la interferencia en el mismo servicio y a la interferencia externa procedente de otros servicios. El GPS y las versiones mejoradas planificadas, mediante el control y comprobación técnica constantes, evitarán los niveles perjudiciales de autointerferencia. Tales garantías no pueden formularse para otros servicios.

2.2 Ruido aleatorio versus código corto

Al analizar la interferencia en el mismo servicio, en este Anexo se presentan resultados en los que se reconocen las distintas autointerferencias cocanales que experimentan las señales GPS. El GPS es un sistema de acceso múltiple por división de código (AMDC) de una sola frecuencia que utiliza una familia de códigos de ruido pseudoaleatorio cortos conocidos como códigos Gold. El resultado es un sistema con una capacidad AMDC limitada, debido en parte a la corta longitud (1 ms) del código Gold. Mientras que en los estudios anteriores se suponía un modelo de ruido gaussiano para la autointerferencia cocanal procedente del GPS, la interferencia mutua de los códigos es mucho mayor que la del ruido aleatorio. Por consiguiente, cuando se analiza la calidad de funcionamiento del GPS en presencia de fuentes externas, debe utilizarse también un modelo preciso para la autointerferencia cocanal procedente del GPS. Al analizar la autointerferencia cocanal debe tenerse en cuenta el comportamiento no lineal del receptor GPS.

CUADRO 3

Receptor de una red en tierra SBAS con codificación parcial*

Frecuencia portadora, L1	1 575,42 MHz
Frecuencia portadora, L2	1 227,6 MHz
Frecuencia de chips del código, C/A	1,023 Mbit/s
Frecuencia de chips del código, Y	10,23 Mbit/s
Velocidad de datos de navegación, GPS	50 bit/s
Velocidad de datos de navegación, SBAS, con una FEC, en velocidad de 1/2	250 bit/s
Tasa de errores en las palabras (1 palabra = 250 bits de información)	10^{-3} por s
Potencia mínima de la portadora a la entrada de la antena (L1/CA)	-160 dBW
Potencia mínima de la portadora a la entrada de la antena (L1/Y)	-163 dBW
Potencia mínima de la portadora a la entrada de la antena (L2/Y)	-166 dBW
Ganancia mínima de la antena hacia el satélite con una elevación de 5°	-4,5 dBic
Máxima ganancia de antena	+7 dBic
Anchura de banda máxima de 3 dB del filtro anterior al correlador ⁽¹⁾	$\pm 16,5$ MHz
Factor de ruido del receptor	4,4 dB
Tiempo de recuperación de sobrecarga del impulso de RF	25×10^{-6} s
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo seguimiento de código Y ^{(2), (3)}	-146,5 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-146,5 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo seguimiento del código Y ^{(2), (3)}	-154,5 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-156,5 dBW

* Estos receptores desempeñan cometidos cruciales en las estaciones en tierra SBAS situadas en emplazamientos fijos conocidos. En consecuencia, alrededor de tales receptores deben existir zonas físicas de amortiguación adecuadas. En este Cuadro se presentan también las características de los receptores de codificación parcial GPS no SBAS.

- (1) Puede ser necesario un filtro anterior al correlador más exigente para proteger el funcionamiento del receptor de las emisiones de RF de la banda adyacente.
- (2) El umbral de interferencia tiene ya en cuenta los efectos de la interferencia intrasistema en el análisis de código aleatorio del GPS. El umbral debe tener en cuenta las demás interferencias combinadas. La aplicabilidad de un margen de seguridad se examina en el Anexo 5.
- (3) La anchura de banda de la interferencia de banda ancha es de 100 kHz a 1 MHz; la anchura de banda de la interferencia de banda estrecha es menor o igual a 700 Hz. En la Fig. 1 se puede ver la anchura de banda en los demás casos.

2.3 Correlador lineal y bucle de seguimiento no lineal

Un método directo de cálculo de la autointerferencia cocanal consiste en modelar un receptor GPS como un correlador que contrae (*de-spreads*) la señal GPS. Este modelo lineal proporciona una estimación de la correlación cruzada entre parejas de códigos GPS. En la práctica el receptor GPS, que debe adquirir y seguir las señales de satélite, utiliza típicamente un bucle de seguimiento cerrado. Se trata de un proceso no lineal que da como resultado múltiples términos de interferencia de correlación cruzada similares a los productos de intermodulación. En este Anexo se modela un ejemplo de receptor GPS que utiliza un bucle de seguimiento pronto/tarde (*early/late*). El criterio de valoración de la calidad de funcionamiento del receptor será la relación C/N_0 después de la correlación que resulta de este proceso no lineal.

2.4 Señal de régimen permanente según el modelo de constelación de satélites

En los análisis anteriores se ha considerado el efecto de la interferencia media en el receptor GPS. La autointerferencia cocanal, sin embargo, depende de las fases relativas y los desplazamientos Doppler de las señales codificadas en el receptor GPS, que son variables con el tiempo. Además, las distintas señales GPS llegan a ángulos de elevación diferentes con respecto al receptor y experimentan niveles de ganancia de antena también diferentes. Todos los efectos mencionados anteriormente son función de la configuración geométrica del satélite y el receptor. Aquí se utiliza un modelo gobernado de constelación GPS de las órbitas de los satélites y una especificación de antena para modelar todos los efectos de la interferencia, incluidos los de corta duración. Ello es necesario porque, a los fines de integridad de la señal, los efectos de la interferencia de una duración de minutos pueden obstaculizar la utilidad del GPS para la seguridad.

2.5 Usuario terrenal y usuario a bordo de una nave espacial

Una diferencia fundamental entre un análisis de interferencia para usuarios terrenales del GPS, al menos en el caso de usuarios del servicio de seguridad de la vida humana que garantice una elevada integridad, y los sistemas de satélites de comunicaciones, es la necesidad de establecer un número elevado de contactos con múltiples satélites. En las aplicaciones a bordo de vehículos espaciales, el usuario sólo ha de establecer el enlace con el número mínimo de satélites que es necesario para actualizar el modelo de la trayectoria del vehículo espacial. Los usuarios terrenales, sin embargo, necesitan establecer un enlace simultáneo con un número mayor de satélites. Típicamente, los usuarios que necesitan una integridad elevada, pueden precisar mantener contacto con un número de satélites entre seis y ocho al mismo tiempo. Además, estos enlaces de satélite necesarios deben incluir constantemente satélites de baja elevación para reducir la dilución de precisión y en consecuencia el error de determinación de posición o de tiempo. El problema de mantener un enlace con un número elevado de satélites se ve exacerbado por el hecho de que las antenas de los usuarios terrenales, para hacer mínima la iluminación de la tierra y en consecuencia la propagación multitrayecto, favorecen satélites con ángulos de elevación más altos con mayores ganancias. De este modo, la interferencia del usuario terrenal hacia un satélite de elevación baja, gravada por una ganancia de antena de usuario menor, es interferida más fácilmente por la señal procedente de un satélite de elevación alta. El modelo de autointerferencia cocanal, que predice la degradación de la relación C/N_0 de sólo un satélite en cada momento, tendrá repercusión en el usuario terrenal (disponibilidad elevada), pero no en el usuario a bordo de la nave espacial.

Otro factor a considerar en el modelo de la autointerferencia cocanal es el plazo de tiempo durante el cual las diferencias relativas Doppler entre parejas de satélites permanecen pequeñas. Se ha encontrado que este tiempo es largo (decenas de segundos a minutos) en el caso de los usuarios terrenales. Los usuarios a bordo de vehículos espaciales, por otra parte, experimentarán muy probablemente sólo sucesos de duración muy corta de diferencias relativas Doppler bajas entre satélites debido a las velocidades orbitales. Por las razones antes mencionadas, mientras que el modelo de autointerferencia cocanal debe aplicarse a los usuarios terrenales, será probablemente

inadecuado para analizar el ambiente de interferencia de los usuarios a bordo de vehículos espaciales.

3 Características del código C/A

Las características específicas del código C/A del GPS que pueden repercutir en los estudios de interferencia se describen en el presente Anexo. El uso del código Gold por el sistema GPS dará como resultado niveles de correlación cruzada que producirán una interferencia cocanal mayor que la de los códigos pseudoaleatorios (PN) de la misma longitud. Puede demostrarse que el nivel de interferencia está relacionado de manera inversa con la longitud del código.

Cuando el periodo del código PN es muy largo, se puede realizar una aproximación continua de la densidad espectral de potencia (dep). La dep de la autointerferencia cocanal a la salida de un correlador lineal puede calcularse mediante la convolución de la dep de la señal de código interferente recibida con la dep de la señal de código de referencia en el receptor. Se ha demostrado que es $2/3 (f_c)$ veces la potencia de interferencia (P_I), donde f_c es la frecuencia de segmentación del código de espectro ensanchado. Este nivel de interferencia, que corresponde a un código aleatorio (no periódico), puede expresarse como $-61,8 + 10 \log (P_I)$ dB(W/Hz) con respecto a la portadora.

Sin embargo, en el caso del código Gold y en especial de los códigos de periodos cortos, un análisis de código aleatorio no predice las variaciones amplias de la autointerferencia cocanal en el tiempo y la ubicación del receptor. Tales variaciones son muy importantes en las aplicaciones sobre la seguridad de la vida humana donde, incluso eventos de duraciones relativamente cortas pueden tener una importancia crucial. En tales casos, es obligado efectuar un análisis más preciso de la autointerferencia cocanal. En consecuencia, los análisis de interferencia que se realicen para apoyar la coordinación de frecuencias deben incluir los efectos a corto plazo de la autointerferencia cocanal como se describe en esta Recomendación.

Por consiguiente, el método de cálculo de la interferencia procedente de un solo GPS se compone de:

- el cálculo de la autointerferencia cocanal utilizando un modelo analítico más preciso que incluya la dependencia de la potencia interferente con respecto a distintos factores tales como los retardos relativos de código y por efecto Doppler entre las señales deseada e interferente, la correlación cruzada de código y los efectos producidos por la no linealidad del receptor;
- el uso de un tipo de constelación para modelar las variaciones en la señal recibida procedente tanto de la fuente deseada como de las fuentes interferentes y las variaciones de la ganancia de antena como una función del ángulo de elevación del usuario;
- la realización de una búsqueda a escala mundial destinada a establecer la ubicación o ubicaciones en las cuales la relación C/N_0 esperada es mínima; y
- el cálculo de la relación C/N_0 en estas ubicaciones como una función del tiempo computado para determinar la duración de esta C/N_0 mínima.

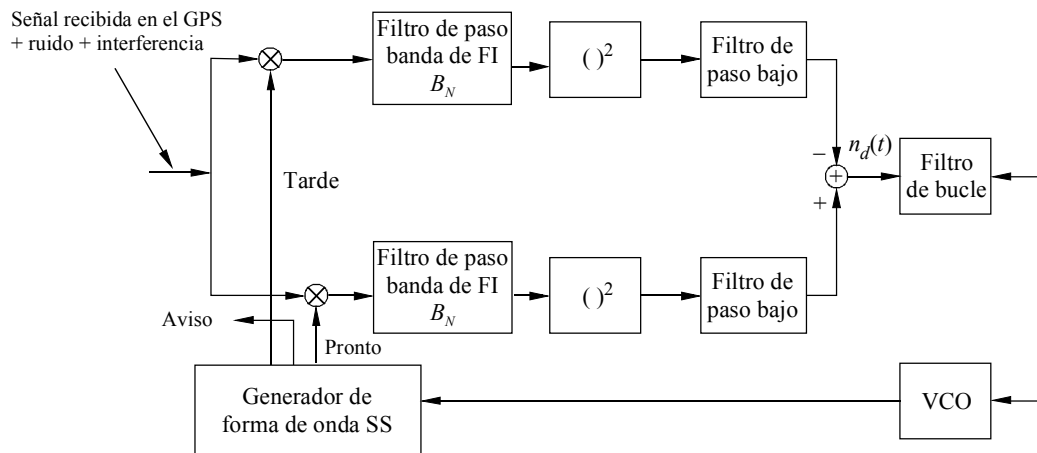
Utilizando esta metodología, se establece una línea de base para la autointerferencia cocanal de código C/A a la cual pueden añadirse para el análisis fuentes externas de interferencia. La comparación de estos puntos de C/N_0 mínima con un umbral predefinido (34 dB(Hz) para la adquisición y 30 dB(Hz) para el seguimiento de código) determinará si la interferencia añadida ocasionará pérdida del servicio GPS.

3.1 Análisis de la autointerferencia cocanal del GPS

En la Fig. 2 se presenta el modelo del bucle de seguimiento con enganche de retardo no coherente utilizado en el análisis.

FIGURA 2

Bucle de seguimiento de código no coherente



VCO: oscilador controlado por tensión

1477-02

La señal total recibida por el canal receptor GPS es la suma de las señales recibidas procedentes del satélite GPS sometido a seguimiento y de otros satélites GPS (L) vistos desde el receptor. La expresión de la señal total a la entrada del bucle de seguimiento puede escribirse como:

$$r(t) = \sqrt{2G_0 P_0} d(t - \tau_0(t)) c_0(t - \tau_0(t)) \cos(\omega_c t + \omega_0^d t + \varphi_0) + \sum_{i=1}^L \sqrt{2G_i P_i} d_i(t - \tau_i(t)) c_i(t - \tau_i(t)) \cos(\omega_c t + \omega_i^d t + \varphi_i) + n(t) \quad (1)$$

donde:

- P_0 : potencia media recibida del satélite GPS sometido a seguimiento
- P_i : potencia media procedente del satélite GPS i -ésimo visto desde el receptor GPS
- G : ganancia que incluye los efectos de la antena en la dirección del satélite GPS i -ésimo
- $c_0(t)$: ensanchamiento del código del satélite GPS sometido a seguimiento
- $c_i(t)$: ensanchamiento del código del satélite i -ésimo
- $d(t)$: bit de datos (± 1 con un periodo T) para el satélite GPS sometido a seguimiento
- $d_i(t)$: bit de datos (± 1 con un periodo T) para el satélite i -ésimo
- $n(t)$: ruido gaussiano blanco aditivo
- $\tau_0(t)$: retardo de propagación de trayecto desde el satélite GPS que incluye el efecto Doppler sobre el código
- $\tau_i(t)$: retardo de propagación de trayecto desde el satélite i -ésimo al receptor que incluye el efecto Doppler sobre el código
- φ_0 : fase de la portadora aleatoria de la señal procedente del satélite GPS sometido a seguimiento
- φ_i : fase de la portadora aleatoria de la señal procedente del satélite i -ésimo

- ω_c : frecuencia de la portadora GPS (rad/s)
- ω_0^d : desplazamiento por efecto Doppler de la frecuencia portadora del satélite sometido a seguimiento (rad/s)
- ω_i^d : desplazamiento por el efecto Doppler de la frecuencia portadora del satélite i -ésimo (rad/s).

En la expresión de las funciones de autocorrelación y de correlación cruzada de los códigos se establece la hipótesis simplificadora de que el efecto Doppler puede ser tratado separadamente del término relativo al ensanchamiento del código. Esta condición es verdadera para desplazamientos relativos de frecuencia por efecto Doppler bajos entre satélites. Se ha hallado también que la interferencia para el caso más desfavorable tiene lugar cuando el desplazamiento de frecuencia relativo por efecto Doppler entre satélites es bajo.

A partir de la señal recibida de la ecuación (1), se calcula el valor a la entrada del bucle de la autointerferencia cocanal ($n_d(t)$) procedente de otros satélite GPS que se encuentran a la vista pero no están sometidos a seguimiento, mediante la ecuación (2):

$$n_d(t) = \frac{1}{2} K_1 \sum_{i=1}^N P_i D_{0i}^I(\xi_{0i}) + K_1 \sum_{i=1}^N \sqrt{P_0 P_i} D_{0i}^C(\xi_{0i}) \cos[\omega_{i0}^d t + \Delta\phi_{i0} + \Delta\theta_{d_{i0}}(t)] + K_1 \sum_{j=1}^N \sum_{i=j+1}^N \sqrt{P_j P_i} D_{ij}^C(\xi_{i0}, \xi_{j0}) \cos[\omega_{ij}^d t + \Delta\phi_{ij} + \Delta\theta_{ij}(t)] \quad (2)$$

donde:

K_1 : pérdida o ganancia del mezclador

$\Delta\theta_{d_{ij}}(t) = \theta_{d_i}(t) - \theta_{d_j}(t)$: diferencia de fase de la modulación de datos entre los satélites GPS i -ésimo y j -ésimo

$\Delta\phi_{ij} = \phi_i - \phi_j$: diferencia de fase aleatoria entre las señales procedentes de los satélites GPS i -ésimo y j -ésimo

$\omega_{ij}^d = \omega_i^d - \omega_j^d$: diferencial de los desplazamientos de la frecuencia portadora por efecto Doppler entre los satélites i -ésimo y j -ésimo.

Las funciones del discriminador de la ecuación (2) vienen definidas por:

$$D_{0i}^I(\xi_{0i}) = R_{c_{0i}}^2 \left[\left(\delta - \xi_{0i} + \frac{\Delta}{2} \right) T_c \right] - R_{c_{0i}}^2 \left[\left(\delta - \xi_{0i} - \frac{\Delta}{2} \right) T_c \right] \quad (3a)$$

$$D_{0i}^C(\xi_{0i}) = R_{c_{00}}^2 \left[\left(\delta + \frac{\Delta}{2} \right) T_c \right] R_{c_{0i}} \left[\left(\delta - \xi_{0i} + \frac{\Delta}{2} \right) T_c \right] - R_{c_{00}}^2 \left[\left(\delta - \frac{\Delta}{2} \right) T_c \right] R_{c_{0i}} \left[\left(\delta - \xi_{0i} - \frac{\Delta}{2} \right) T_c \right] \quad (3b)$$

$$D_{ij}(\xi_{0i}, \xi_{0j}) = R_{c_{0i}} \left[\left(\delta - \xi_{0i} + \frac{\Delta}{2} \right) T_c \right] R_{c_{0j}} \left[\left(\delta - \xi_{0j} + \frac{\Delta}{2} \right) T_c \right] - R_{c_{0i}} \left[\left(\delta - \xi_{0i} - \frac{\Delta}{2} \right) T_c \right] R_{c_{0j}} \left[\left(\delta - \xi_{0j} - \frac{\Delta}{2} \right) T_c \right] \quad (3c)$$

En las ecuaciones (3a) a (3c):

$$\xi_{\alpha}(t) = \frac{\tau_0(t) - \tau_i(t)}{T_c} \quad \text{retardo diferencial normalizado entre el satélite sometido a seguimiento y el satélite GPS } i\text{-ésimo que se encuentra a la vista del receptor GPS}$$

δ : error de seguimiento

$$R_{c_{0i}}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T c_0(t) c_i(t + \tau) dt \quad \text{correlación cruzada de códigos entre el código 0-ésimo y el código } i\text{-ésimo.}$$

Cuando $i = 0$ la ecuación (3a) da como resultado la bien conocida curva S del discriminador del bucle de seguimiento y la contribución de las ecuaciones (3b) y (3c) es nula. Cuando i es distinto de cero (índice correspondiente al satélite sometido a seguimiento) las tres ecuaciones (3a) a (3c) contribuyen al ruido en el bucle de seguimiento. Para calcular la potencia interferente cocanal, obtenemos la dep.

$I_0(f, f_{ij}^d, \tau_{ij})$, es una función de la portadora Doppler diferencial (f_{ij}^d) y del retardo de propagación de trayecto diferencial (τ_{ij}) entre los satélites i -ésimo y j -ésimo tomando la transformada de Fourier de la ecuación (2). La dep para la autointerferencia cocanal puede darse por la ecuación (4).

$$\begin{aligned} I_0(f, f_{ij}^d, \tau_{ij}) = & \frac{K_1^2}{4 P_0} \sum_{i=1}^N P_i^2 \left| D_{0i}^{IF}(f/v_{i0}^n) \right|^2 + \\ & \frac{K_1^2}{4 P_0 T} \sum_{i=1}^N P_0 P_i \tau_{i0}^2 \left\{ \left| D_{0i}^{CF}(f/v_{i0}^n) \right|^2 * \left[\frac{\sin \pi (f - f_{i0}^d) \tau_{i0}}{\pi (f - f_{i0}^d) \tau_{i0}} \right]^2 + \left[\frac{\sin \pi (f + f_{i0}^d) \tau_{i0}}{\pi (f + f_{i0}^d) \tau_{i0}} \right]^2 \right\} + \quad (4) \\ & \frac{K_1^2}{4 P_0 T} \sum_{j=1}^N \sum_{i=j+1}^N P_j P_i \tau_{ij}^2 \left\{ \left| D_{ij}^F(f/v_{ij}^n) \right|^2 * \left[\frac{\sin \pi (f - f_{ij}^d) \tau_{ij}}{\pi (f - f_{ij}^d) \tau_{ij}} \right]^2 + \left[\frac{\sin \pi (f + f_{ij}^d) \tau_{ij}}{\pi (f + f_{ij}^d) \tau_{ij}} \right]^2 \right\} \end{aligned}$$

donde el símbolo* indica una operación de convolución. f_{ij}^d y τ_{ij} están relacionados con la diferencia de velocidad ($\dot{\rho}_i - \dot{\rho}_j$) y la diferencia de distancia ($\dot{\rho}_i - \dot{\rho}_j$) entre los satélites i -ésimo y j -ésimo como sigue:

$$\begin{aligned} f_{ij}^d &= v_{ij}^n \times f_c \\ &= \frac{v_{ij}}{c} \times f_c \\ &= \frac{\dot{\rho}_i - \dot{\rho}_j}{c} \times f_c \end{aligned}$$

$\tau_{ij} = \frac{(\rho_i - \rho_j)}{c}$; c es la velocidad de la luz. (En la evaluación, las magnitudes de los retardos diferenciales están restringidas a menos de 20 ms.)

El primer término de la ecuación (4) es similar a la expresión que puede obtenerse para la densidad espectral de potencia de la autointerferencia cocanal en un correlador lineal con la modulación de datos eliminada. El segundo y tercer términos de la ecuación (4) son el resultado de la operación cuadrática efectuada en el bucle de seguimiento. El segundo término corresponde a la interferencia procedente del satélite i -ésimo e incluye la modulación de datos, y el tercer término es debido a los productos de intermodulación de las señales de los satélites i -ésimo y j -ésimo que caen dentro de la anchura de banda del bucle. Debe señalarse que todos los términos de la ecuación (4) son funciones de los efectos Doppler y que el segundo y tercer términos son funciones también de los retardos relativos entre los satélites que se encuentran a la vista. Asimismo, puesto que el tercer término es una función del retardo diferencial y el Doppler diferencial de todos los satélites que se ven, distintos del satélite sometido a seguimiento, tomados en parejas, pueden resultar difícil la determinación de un caso más desfavorable razonable al evaluar este término. Sin embargo, se cree que la contribución de este término en la mayoría de los escenarios que tienen lugar en la práctica es insignificante, y por tanto no se incluye en los resultados presentados aquí. Debido a la simplificación mencionada anteriormente, los resultados que aquí se presentan son algo optimistas.

La relación C/N_0 equivalente se puede escribir como:

$$C/N_0 = 10 \log (P/(N_0 + I_0(f, f_{ij}^d, \tau_{ij}))) \quad (5)$$

siendo:

N_0 : densidad espectral de ruido térmico lateral de un solo lado

$I_0(f, f_{ij}^d, \tau_{ij})$: dep de la autointerferencia cocanal del GPS.

En la evaluación de la relación C/N_0 como una función de la configuración geométrica de los satélites, se ha visto que la magnitud de la interferencia cocanal disminuye por regla general rápidamente a medida que aumenta el desplazamiento de la frecuencia relativo por efecto Doppler entre satélites. Esto apoya la hipótesis establecida al obtener la ecuación (2).

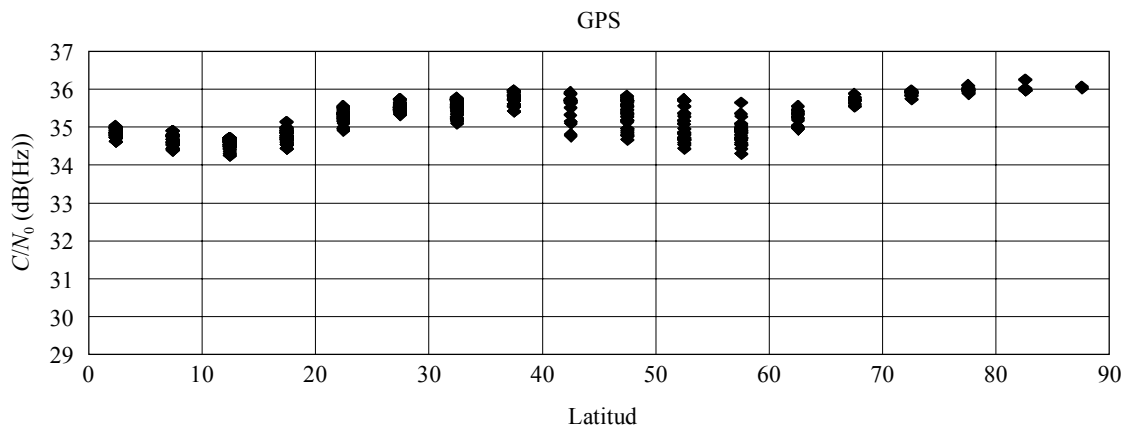
3.2 Resultados de las muestras

Los resultados que aquí se presentan sólo tienen en cuenta la autointerferencia cocanal del GPS. Se ha supuesto un nivel de ruido térmico a la entrada del receptor de $-201,5$ dB(W/Hz). La potencia de la señal GPS especificada para el código C/A a la entrada de una antena de ganancia 0 dBic es -160 dBW. (No se ha tenido en cuenta ningún margen para las pérdidas del correlador.) El modelo de antena del GPS utilizado supone una ganancia mínima de $-4,5$ dB para un ángulo de elevación de 5° y una ganancia máxima en el cenit de 3 dB. La C/N_0 asociada con la adquisición (inicial asegurada o readquisición de una señal de satélite GPS de una manera temporalizada) es de 34 dB(Hz). Para modelar todos los efectos de interferencia, incluidos los de corta duración, se utilizan el modelo gobernado de constelación GPS de las órbitas de los satélites y la especificación de antena mencionados anteriormente. El desplazamiento de frecuencia Doppler diferencial, los retardos diferenciales y los niveles de potencia recibidos de todos los satélites GPS que se encuentran a la vista se obtienen del modelo gobernado de constelación, y se utilizan junto con la ecuación (5) para determinar la relación C/N_0 resultante.

En la Fig. 3 se representa la relación C/N_0 mínima disponible en función de la longitud y la latitud del usuario. Estos datos se generaron utilizando una retícula de superficies aproximadamente iguales de 5° de latitud en el Hemisferio Norte y un incremento de tiempo (time-step) de 2 min durante un periodo de 24 h. Obsérvese también que debido a la simetría inherente a la configuración, los datos para el Hemisferio Sur son casi idénticos a los del Hemisferio Norte. Para cada punto de la Tierra, sólo se registra la relación C/N_0 (caso más desfavorable) del conjunto de

satélites durante el periodo de 24 h. Se representa cada valor mínimo para la latitud correspondiente al punto en tierra. Así, la dispersión de puntos de igual latitud representa la variación de la C/N_0 mínima detectada por los receptores para distintas longitudes. Los resultados muestran que el nivel mínimo de C/N_0 para el funcionamiento del GPS (sin ninguna interferencia procedente de otras fuentes de señal) es adecuado para satisfacer los criterios, tanto de la adquisición como del seguimiento.

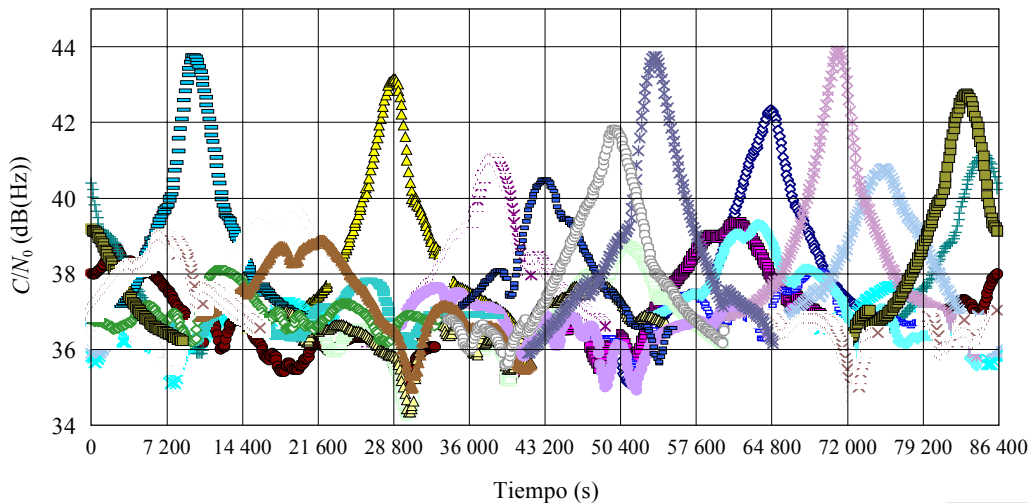
FIGURA 3
 Relación C/N_0 del caso más desfavorable para una simulación mundial de autointerferencia cocanal del GPS, en función de la latitud del usuario



1477-03

En la Fig. 4 se representa la relación C/N_0 disponible en un receptor GPS como una función del tiempo durante un periodo de 24 h, para un usuario ubicado en las proximidades de $12,5^\circ$ de latitud y -96° de longitud (caso más desfavorable de la Fig. 3). Los múltiples puntos de esta Figura representan la C/N_0 de diferentes satélites GPS visibles desde dicha ubicación.

FIGURA 4
 Autointerferencia cocanal del GPS en función del tiempo para la ubicación más desfavorable

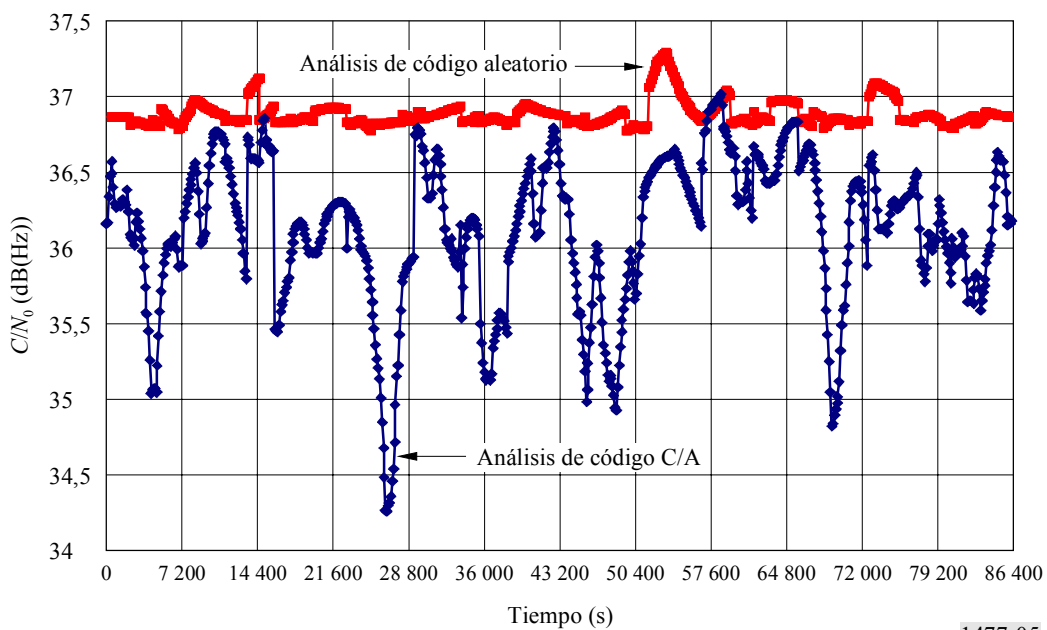


1477-04

En las Figs. 3 y 4 puede verse que, aun cuando la autointerferencia cocanal procedente de todos los satélites GPS visibles está incluida, la relación C/N_0 mínima para todas las ubicaciones del mundo y para todo el tiempo es superior al umbral de adquisición C/N_0 de 34 dB(Hz). Además, un examen de la Fig. 4 indica que se produce dos veces un mínimo de C/N_0 dentro de 1 dB del umbral de adquisición (34 dB(Hz)). Ello significa que existe la posibilidad de una pérdida de la capacidad de adquisición, para un satélite al menos, en presencia de interferencia adicional procedentes de fuentes externas. Cada incidencia dura de 10 a 15 min. La primera vez, alrededor de los 30 000 s, 2 o posiblemente 3 de los 8 satélites visibles se encuentran dentro de esta gama, y en la segunda incidencia, alrededor de los 72 000 s, 1 de los 7 satélites visibles cae dentro de esta gama. Para una ubicación de usuario diferente, la hora y duración de este evento puede variar, aunque no se espera que la variación sea muy grande.

A efectos de comparación, en la Fig. 5 se representa la envolvente de las relaciones C/N_0 mínimas para los satélites que se ven, basadas en el código aleatorio y el código preciso C/A. La curva correspondiente al análisis del código aleatorio es casi constante ya que se basa en el nivel de interferencia de $-61,5$ dB con respecto a la potencia de la portadora como se ha examinado anteriormente. La pequeña variación que se aprecia en este gráfico de puntos es debida a los cambios en la ganancia de la antena como consecuencia de los cambios de la línea de visibilidad directa de los satélites en función del tiempo. Por el contrario, la curva correspondiente al análisis de código C/A incluye todos los efectos del desplazamiento Doppler diferencial, los retardos diferenciales, la modulación de los datos y las variaciones de la ganancia de la antena en función del tiempo, lo que da como resultado una reducción de la C/N_0 mínima que se extiende de 0 dB a 2,5 dB. Los resultados que se presentan en las Figs. 4 y 5 indican de forma clara que puede ser considerable la diferencia en el valor mínimo de C/N_0 según se incluyan o no en el análisis los efectos Doppler diferencial y retardo diferencial. Por consiguiente, en cualquier análisis de interferencia que tome en consideración la compartición de frecuencias se deben incluir todos los efectos experimentados por la señal que se describen en el presente Anexo.

FIGURA 5
Comparación de la autointerferencia cocanal para señales de código aleatorio y señales de código C/A



4 Conclusión

La metodología de análisis descrita en este Anexo incorpora una descripción más exacta de la autointerferencia cocanal de señales de código C/A que la aplicada cuando se trata del modelo de código aleatorio. Ambos métodos de análisis muestran que el servicio GPS se encuentra siempre disponible. En este análisis del caso más desfavorable se llega a la conclusión de que existen efectos limitados dependientes del tiempo y de la ubicación que pueden reducir el margen reservado para las fuentes externas de interferencia. (La aplicabilidad de este modelo a los usos del GPS relativos a la seguridad de la vida humana de disponibilidad elevada se contrasta con otros usos del GPS, como las plataformas espaciales, para los cuales puede ser suficiente la aplicación de un nivel medio de autointerferencia cocanal.) En un caso típico se demuestra que, para la ubicación del caso más desfavorable, hay dos casos en los cuales el efecto del ruido sobre uno o dos satélites se encuentra dentro de 1 dB del umbral de adquisición.

Anexo 2

Características de los receptores del SRNS que funcionan en el sistema GLONASS y sus versiones mejoradas

En el presente Anexo se describen varios tipos de receptores aeronáuticos actuales y proyectados del sistema GLONASS. Cada uno de ellos puede modificarse para aplicaciones terrenales o marítimas.

El receptor del primer tipo se destina al funcionamiento en la aviación civil en las etapas de navegación en ruta y de aproximación de categoría I. El receptor está concebido para operar utilizando las señales de precisión normalizada (SAS, *standard accuracy signals*) del sistema GLONASS transmitidas en las frecuencias $K = -7, \dots, 0, 1, \dots, 12$.

El receptor del segundo tipo se diseña para su funcionamiento en la aviación civil en las etapas de navegación en ruta y de aproximación de categoría I. El receptor se destina al funcionamiento utilizando las señales SAS del sistema GLONASS transmitidas en las frecuencias $K = -7, \dots, 0, 1, \dots, 4$.

El receptor del tercer tipo está diseñado para operar en la aviación civil en las etapas de navegación en ruta y de aproximación de categoría I utilizando el sistema SBAS-GLONASS (véase la Nota 1). El receptor se destina a operar con las señales SAS del sistema GLONASS transmitidas en las frecuencias $K = -7, \dots, 0, 1, \dots, 4$ y con las señales SAS procedentes de satélites del sistema SBAS-GLONASS, transmitidas en las frecuencias $K = 5, \dots, 9$.

NOTA 1 – SBAS: Sistema mejorado situado en el satélite (*satellite-based augmentation system*). Sistema de aumento amplio de la cobertura en el cual el usuario recibe un aumento de información directamente del transmisor a bordo del satélite. Se espera que las señales SAS del sistema SBAS-GLONASS serán transmitidas desde los satélites OSG después del año 2005 en la banda de frecuencias 1 605-1 607,5 MHz.

El receptor del cuarto tipo se diseña para su funcionamiento en la aviación civil en las etapas de navegación en ruta y de aproximación de las categorías I/II/III utilizando los sistemas SBAS-GLONASS y GBAS (véase la Nota 2). El receptor está diseñado para operar mediante las señales SAS del sistema GLONASS transmitidas en las frecuencias $K = -7, \dots, 0, 1, \dots, 4$, las señales SAS

procedentes del sistema SBAS-GLONASS que se transmitirán en las frecuencias $K = 5, \dots, 9$ y las señales SAS transmitidas en las frecuencias $K = -12, \dots, -8$ desde los pseudolites (véase la Nota 3).

NOTA 2 – GBAS: Sistema mejorado situado en tierra (*ground-based augmentation system*). Sistema de aumento de la cobertura en el cual el usuario recibe un aumento de información directamente de un transmisor situado en tierra.

NOTA 3 – Los pseudolites son transmisores situados en tierra que envían señales SAS que tienen las mismas características que las señales del tipo GLONASS.

El receptor del quinto tipo está concebido para su funcionamiento en la aviación civil en las etapas de navegación en ruta y de aproximación de las categorías I/II/III utilizando los sistemas SBAS-GLONASS y GBAS (situado en tierra). El receptor operará utilizando el sistema GLONASS de señales de navegación exactas de alta precisión (PAS, *precision (high) accuracy (navigation) signals*) que se transmitirán en las frecuencias $K = -7, \dots, 0, 1, \dots, 4$, señales SAS del sistema SBAS-GLONASS transmitidas en las frecuencias $K = 5, \dots, 9$ y señales SAS transmitidas en las frecuencias $K = -12, \dots, -8$ desde pseudolites.

Para cumplir las exigencias de precisión impuestas por la etapa de aproximación de vuelo en la aviación civil, los receptores del sistema GLONASS están dotados de correladores que disponen de puertas estrechas (marcas estroboscópicas (*strokes*) y puertas de forma especial.

CUADRO 4

Receptores del sistema GLONASS del primer tipo

Frecuencias portadoras L1	$F_{K1} = f_{01} + K \Delta f_1$ donde: $f_{01} = 1\,602\text{ MHz}$ $\Delta f_1 = 0,5625\text{ MHz}$ $K = -7, \dots, 12$
Frecuencia de chips del código de la señal SAS del GLONASS	511 kbit/s
Velocidad de datos de navegación en el sistema GLONASS	50 bit/s
Nivel de potencia recibido mínimo de la señal SAS a la entrada de la antena	-161 dBW
Ganancia mínima de la antena en la dirección del satélite con un ángulo de elevación de 5°	-4,5 dBic
Ganancia máxima de la antena en el hemisferio superior	+7 dBic
Ganancia de la antena en el hemisferio inferior	-10 dBic
Anchura de banda de 3 dB del filtro de RF con una frecuencia central de 1 603,406 MHz	25,1 MHz
Anchura de banda de 3 dB del filtro previo al correlador con frecuencia central en 1 603,406 MHz	20,91 MHz
Tiempo de recuperación de sobrecarga	1-5 μs
Temperatura de ruido del receptor	400 K
Umbral de la interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo seguimiento ^{(1), (2)}	-149 dBW
Umbral de la interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo adquisición ^{(1), (2)}	-155 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo seguimiento ^{(1), (2)}	-146 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo adquisición ^{(1), (2)}	-152 dB(W/MHz)

(1) El umbral de interferencia ya tiene en cuenta los efectos de la interferencia intrasistema del GLONASS sobre el análisis de código aleatorio. El umbral debe tener en cuenta las demás interferencias combinadas.

(2) En los receptores GLONASS la resistencia a la interferencia se mide con relación a los siguientes parámetros de calidad de funcionamiento: error de seguimiento de 0,8 m (1 σ) y tasa de errores en las palabras de 1 en 10⁴ palabras. Este error de seguimiento no incluye las contribuciones debidas a los efectos de la propagación multitrayecto, propagación troposférica y propagación ionosférica de la señal, así como las efemérides y los errores de reloj de los satélites GLONASS.

CUADRO 5

Receptores del sistema GLONASS del segundo tipo

Frecuencias portadoras, L1 ⁽¹⁾	$F_{K1} = f_{01} + K \Delta f_1$ donde: $f_{01} = 1\,602\text{ MHz}$ $\Delta f_1 = 0,5625\text{ MHz}$ $K = -7, \dots, 4$
Frecuencia de chips de código en la señal SAS de GLONASS	511 kbit/s
Velocidad de datos de navegación en el sistema GLONASS	50 bit/s
Nivel de potencia recibido mínimo a la entrada de la antena del sistema GLONASS	-161 dBW
Ganancia mínima de la antena hacia un satélite GLONASS con una elevación de 5°	-4,5 dBic
Ganancia máxima de la antena en el hemisferio superior	+7 dBic
Ganancia de la antena en el hemisferio inferior	-10 dBic
Anchura de banda de 3 dB del filtro de RF con una frecuencia central de 1 601,156 MHz	19,69 MHz
Anchura de banda de 3 dB del filtro previo al correlador con una frecuencia central de 1 601,156 MHz	16,41 MHz
Tiempo de recuperación de sobrecarga	1-5 μ s
Temperatura de ruido del receptor	400 K
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-149 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-155 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-146 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-152 dB(W/MHz)

⁽¹⁾ Los receptores presentados se destinan a la recepción de señales SAS de GLONASS en las frecuencias $K = -7, \dots, 0, 1, \dots, 4$.

⁽²⁾ El umbral de interferencia ya tiene en cuenta los efectos de la interferencia intrasistema del GLONASS sobre el análisis de código aleatorio. El umbral debe tener en cuenta las demás interferencias combinadas.

⁽³⁾ En los receptores GLONASS la resistencia a la interferencia se mide con relación a los siguientes parámetros de calidad de funcionamiento: error de seguimiento de 0,8 m (1σ) y tasa de errores en las palabras de 1 en 10^4 palabras. Este error de seguimiento no incluye las contribuciones debidas a los efectos de la propagación multitrayecto, propagación troposférica y propagación ionosférica de la señal, así como las efemérides y los errores de reloj de los satélites GLONASS.

CUADRO 6

Receptores del sistema GLONASS del tercer tipo

Frecuencias portadoras, L1 ⁽¹⁾	$F_{K1} = f_{01} + K \Delta f_1$ donde: $f_{01} = 1\,602$ MHz $\Delta f_1 = 0,5625$ MHz $K = -7, \dots, 9$
Frecuencia de chips del código en la señal SAS del GLONASS	511 kbit/s
Frecuencia de chips del código en la señal SAS del sistema SBAS-GLONASS	511 kbit/s
Velocidad de datos de navegación en el sistema GLONASS	50 bit/s
Velocidad de datos de navegación, SBAS-GLONASS, con una FEC, en velocidad de 1/2	500 símbolos/s
Tasa de errores en las palabras (1 palabra es igual a 250 bits de información) para el sistema SBAS-GLONASS	1×10^{-3}
Nivel de potencia recibido mínimo a la entrada de la antena del sistema GLONASS	-161 dBW
Nivel de potencia recibido mínimo a la entrada de la antena del sistema SBAS-GLONASS	-161 dBW
Ganancia mínima de la antena en la dirección de un satélite GLONASS con 5° de elevación	-4,5 dBic
Ganancia mínima de la antena en la dirección de un satélite SBAS-GLONASS con 5° de elevación	-4,5 dBic
Ganancia máxima de la antena en el hemisferio superior	+7 dBic
Ganancia de la antena en el hemisferio inferior	-10 dBic
Anchura de banda de 3 dB del filtro de RF con una frecuencia central de 1 601,156 MHz	19,69 MHz
Anchura de banda de 3 dB del filtro anterior al correlador con una frecuencia central de 1 601,156 MHz	16,41 MHz
Tiempo de recuperación de sobrecarga	1-5 μ s
Temperatura de ruido del receptor	400 K
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-149 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-155 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-146 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-152 dB(W/MHz)

⁽¹⁾ Los receptores presentados se destinan a la recepción de señales SAS de GLONASS en las frecuencias $K = -7, \dots, 0, 1, \dots, 4$ y señales SAS de SBAS-GLONASS en frecuencias $K = 5, \dots, 9$.

⁽²⁾ El umbral de interferencia ya tiene en cuenta los efectos de la interferencia intrasistema del GLONASS en el análisis de código aleatorio. El umbral debe tener en cuenta las demás interferencias combinadas.

⁽³⁾ En los receptores GLONASS la resistencia a la interferencia se mide con relación a los siguientes parámetros de calidad de funcionamiento: error de seguimiento de 0,8 m (1σ) y tasa de errores en las palabras de 1 en 10^4 palabras. Este error de seguimiento no incluye las contribuciones debidas a los efectos de la propagación multitrayecto, propagación troposférica y propagación ionosférica de la señal, así como las efemérides y los errores de reloj de los satélites GLONASS.

CUADRO 7

Receptores del sistema GLONASS del cuarto tipo

Frecuencias portadoras, L1 ⁽¹⁾	$F_{K1} = f_{01} + K \Delta f_1$ donde: $f_{01} = 1\,602\text{ MHz}$ $\Delta f_1 = 0,5625\text{ MHz}$ $K = -12, \dots, 9$
Frecuencia de chips del código en la señal SAS de GLONASS	511 kbit/s
Frecuencia de chips del código en la señal SAS del sistema SBAS-GLONASS	511 kbit/s
Frecuencia de chips del código en la señal SAS procedente de pseudolites	511 kbit/s
Velocidad de datos de navegación en el sistema GLONASS	50 bit/s
Velocidad de datos de navegación, SBAS-GLONASS, con una FEC, en velocidad de 1/2	500 símbolos/s
Tasa de errores en las palabras (1 palabra es igual a 250 bits de información) para el sistema SBAS-GLONASS	1×10^{-3}
Velocidad de datos de navegación en el pseudolite	50 bit/s
Nivel de potencia recibido mínimo a la entrada de antena del sistema GLONASS	-161 dBW
Nivel de potencia recibido mínimo a la entrada de antena del sistema SBAS-GLONASS	-161 dBW
Nivel de potencia recibido mínimo procedente de pseudolites a la entrada de la antena	-161 dBW
Nivel medio de potencia mínimo de señales procedentes de pseudolites a la entrada de antena	-140 dBW
Ganancia mínima de la antena en la dirección de un satélite GLONASS con 5° de elevación	-4,5 dBic
Ganancia mínima de la antena en la dirección de un satélite SBAS con 5° de elevación	-4,5 dBic
Ganancia mínima de la antena en la dirección de un pseudolite	-21 dBic
Ganancia máxima de la antena en el hemisferio superior	+7 dBic
Ganancia de la antena en el hemisferio inferior	-10 dBic
Anchura de banda de 3 dB del filtro de RF con una frecuencia central de 1 601,156 MHz	19,69 MHz
Anchura de banda de 3 dB del filtro anterior al correlador con una frecuencia central de 1 601,156 MHz	16,41 MHz
Tiempo de recuperación de sobrecarga	1-5 μ s
Temperatura de ruido del receptor	400 K
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-149 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-155 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-146 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-152 dB(W/MHz)

⁽¹⁾ Los receptores presentados se destinan a la recepción de señales SAS de GLONASS en las frecuencias $K = -7, \dots, 0, 1, \dots, 4$, señales SAS de SBAS-GLONASS en frecuencias $K = 5, \dots, 9$ y señales SAS de pseudolite en frecuencias $K = -12, \dots, -8$.

⁽²⁾ El umbral de interferencia ya tiene en cuenta los efectos de la interferencia intrasistema del GLONASS en el análisis de código aleatorio. El umbral debe tener en cuenta las demás interferencias combinadas.

⁽³⁾ En los receptores GLONASS la resistencia a la interferencia se mide con relación a los siguientes parámetros de calidad de funcionamiento: error de seguimiento de 0,8 m (1σ) y tasa de errores en las palabras de 1 en 10^4 palabras. Este error de seguimiento no incluye las contribuciones debidas a los efectos de la propagación multitrajecto, propagación troposférica y propagación ionosférica de la señal, así como las efemérides y los errores de reloj de los satélites GLONASS.

CUADRO 8

Receptores del sistema GLONASS del quinto tipo

Frecuencias portadoras, L1 ⁽¹⁾	$F_{K1} = f_{01} + K \Delta f_1$ donde: $f_{01} = 1\,602\text{ MHz}$ $\Delta f_1 = 0,5625\text{ MHz}$ $K = -12, \dots, 9$
Frecuencia de chips del código en la señal PAS del GLONASS	5,11 Mbit/s
Frecuencia de chips del código en la señal SAS del sistema SBAS-GLONASS	511 kbit/s
Frecuencia de chips del código en la señal SAS procedente de pseudolites	511 kbit/s
Velocidad de datos de navegación en el sistema GLONASS	50 bit/s
Velocidad de datos de navegación SBAS-GLONASS con una FEC, en velocidad de 1/2	500 símbolos/s
Tasa de errores en las palabras (1 palabra es igual a 250 bits de información) para el sistema SBAS-GLONASS	1×10^{-3}
Velocidad de datos de navegación en el pseudolite	50 bit/s
Nivel de potencia recibido mínimo PAS a la entrada de antena del sistema GLONASS	-161 dBW
Nivel de potencia recibido mínimo SAS a la entrada de antena del sistema SBAS-GLONASS	-161 dBW
Nivel de potencia recibido mínimo SAS procedente de pseudolites a la entrada de la antena	-161 dBW
Nivel mínimo de potencia medio de señales procedentes de pseudolites a la entrada de antena	-140 dBW
Ganancia mínima de la antena en la dirección de un satélite GLONASS con 5° de elevación	-4,5 dBic
Ganancia mínima de la antena en la dirección de un satélite SBAS con 5° de elevación	-4,5 dBic
Ganancia mínima de la antena en la dirección de un pseudolite	-21 dBic
Ganancia máxima de la antena en el hemisferio superior	+7 dBic
Ganancia de la antena en el hemisferio inferior	-10 dBic
Anchura de banda de 3 dB del filtro de RF con una frecuencia central de 1 601,156 MHz	19,69 MHz
Anchura de banda de 3 dB del filtro anterior al correlador con una frecuencia central de 1 601,156 MHz	16,41 MHz
Tiempo de recuperación de sobrecarga	1-5 μ s
Temperatura de ruido del receptor	400 K
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-149 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-155 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo seguimiento ^{(2), (3)}	-146 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo adquisición ^{(2), (3)}	-152 dB(W/MHz)

⁽¹⁾ Los receptores presentados se destinan a la recepción de señales PAS de GLONASS en las frecuencias $K = -7, \dots, 0, 1, \dots, 4$, señales SAS de SBAS-GLONASS en frecuencias $K = 5, \dots, 9$ y señales SAS de pseudolite en las frecuencias $K = -12, \dots, -8$.

⁽²⁾ El umbral de interferencia ya tiene en cuenta los efectos de la interferencia intrasistema del GLONASS en el análisis de código aleatorio. El umbral debe tener en cuenta las demás interferencias combinadas.

⁽³⁾ En los receptores GLONASS la resistencia a la interferencia se mide con relación a los siguientes parámetros de calidad de funcionamiento: error de seguimiento de 0,8 m (1σ) y tasa de errores en las palabras de 1 en 10^4 palabras. Este error de seguimiento no incluye las contribuciones debidas a los efectos de la propagación multitrajecto, propagación troposférica y propagación ionosférica de la señal, así como las efemérides y los errores de reloj de los satélites GLONASS.

Anexo 3

Características del receptor E-NSS-1

En el Cuadro 9 se presentan las características de los receptores de radionavegación por satélite que se utilizarán en la banda de 1 559-1 610 MHz con el sistema planificado E-NSS-1 en aplicaciones aeronáuticas, marítimas y terrestres.

Estos receptores se han proyectado también para su funcionamiento en la banda 1 215-1 260 MHz.

CUADRO 9

Gama de frecuencias	1 587,696-1 591,788 MHz (E1) 1 559,052-1 563,144 MHz (E2)
Frecuencias portadoras	1 589,742 MHz (E1) 1 561,098 MHz (E2)
Velocidades de código pseudoaleatorio	3,069 Mchip/s (E1 y E2)
Cobertura de la antena	Hemisférica
Ganancia máxima de la antena (cenit)	3 dBi
Ganancia mínima de la antena (5° de elevación)	-4,5 dBi
Temperatura de ruido del sistema receptor	350 K
Potencia mínima de la señal recibida a la salida de la antena	-157,3 dBW
Relación C/N_0 requerida para la navegación de precisión	41,2 dB(Hz)
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor ⁽¹⁾	-141,3 dBW en cualquier banda de 1 MHz
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor ⁽¹⁾	-151,3 dBW

⁽¹⁾ El umbral de interferencia ya ha tenido en cuenta los efectos de la interferencia intrasistema del E-NSS-1 en el análisis de código aleatorio. El umbral debe tener en cuenta las demás interferencias agregadas.

Anexo 4

Características de los receptores LSATNAV/MSATNAV

La constelación LSATNAV está basada en una combinación de dos tipos de satélites: la constelación principal está formada por satélites de órbita terrestre baja (LEO) e incrementada con satélites OSG. Análogamente, la arquitectura MSATNAV comprende una constelación de satélites de órbita terrestre media (MEO) que puede incrementarse con satélites OSG. Estos satélites OSG pueden ser, por un lado, satélites utilizados actualmente en los SBAS (señales similares a las del GPS en la frecuencia GPS 1 575,42 MHz, moduladas con datos de 500 bit/s de velocidad de símbolos) o, por otro lado, satélites OSG dedicados LSATNAV/MSATNAV (señal en la frecuencia LSATNAV/MSATNAV modulada con datos de 500 bit/s de velocidad de símbolos).

Un receptor LSATNAV/MSATNAV se compone básicamente de:

- una antena omnidireccional capaz de recibir las señales de todos los satélites LSATNAV/MSATNAV visibles y del sistema L1-GPS-SBAS;
- un receptor/procesador de señales;
- un dispositivo de procesamiento y dispositivos de entrada/salida.

Los requisitos operacionales han de satisfacer las SARP de la OACI y son, en el primer caso, equivalentes a las de los receptores SBAS-GPS. Estos receptores SBAS son receptores terrestres, marítimos y aeronáuticos diseñados para prestar el servicio básico.

En el segundo caso, los requisitos operacionales han de satisfacer las SARP de la OACI y son equivalentes a los receptores GBAS-GPS. Sin embargo, no se incluyen en el presente Anexo las características de los receptores GBAS.

Para proporcionar la precisión esperada, en ambos casos el receptor/procesador de señales debe ser capaz de procesar mediciones de dos frecuencias destinadas a las correcciones ionosféricas, y debe procesar una correlación estrecha segmento-espaciamento del bucle de seguimiento de código.

En este Anexo se detallan las características técnicas del receptor SBAS LSATNAV/MSATNAV.

En la descripción del Cuadro 10, los niveles de potencia a la entrada de la antena se refieren a la potencia que recibiría una antena isótropa, con polarización circular adecuada, mientras que los niveles de potencia a la salida de la antena tienen en cuenta la ganancia de antena en la dirección de la señal o fuente de interferencia específica.

CUADRO 10

Receptor de navegación aérea SBAS LSATNAV/MSATNAV, nivel de servicio básico

Frecuencia central de la portadora, L1	1 575,420 MHz 1 589,742 MHz 1 561,098 MHz
Frecuencia central de la portadora, L2	1 216,347 MHz 1 217,370 MHz 1 258,290 MHz
Frecuencia de chips del código, C/A	1,023 Mbit/s
Velocidad de datos de navegación, GPS	50 bit/s
Velocidad de datos de navegación, SBAS, con una FEC, en velocidad de 1/2	500 símbolos/s
Nivel de potencia recibido mínimo a la entrada de la antena (SBAS)	-161 dBW
Ganancia mínima de la antena en la dirección del satélite con 5° de elevación	-4,5 dBic
Ganancia máxima de la antena en el hemisferio superior	+7 dBic
Ganancia supuesta de la antena en el hemisferio inferior	-10 dBic
Factor de ruido del receptor	4,4 dB
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo seguimiento ⁽¹⁾	-150,5 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda estrecha del receptor en el modo adquisición ⁽¹⁾	-156,5 dBW
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo seguimiento ⁽¹⁾	-140,5 dB(W/MHz)
Umbral de interferencia combinada de banda ancha del receptor en el modo adquisición ⁽¹⁾	-146,5 dB(W/MHz)

⁽¹⁾ El umbral de interferencia ya tiene en cuenta los efectos de la interferencia intrasistema del LSATNAV/MSATNAV en el análisis de código aleatorio. El umbral debe tener en cuenta todas las demás interferencias agregadas.

Anexo 5

Margen para las aplicaciones de radionavegación relacionadas con la seguridad de la vida humana

1 Introducción

Históricamente se ha venido reservando una porción del presupuesto de interferencia del enlace como margen destinado a garantizar la protección del servicio de radionavegación. Los valores de este margen se encuentran normalmente entre 6 y 10 dB, o más. Además, en la UIT existe un amplio precedente de un margen de seguridad para los servicios de seguridad de la radionavegación, por ejemplo, en un antiguo informe del UIT-R se declara:

«Con independencia de las intenciones originales de los planificadores del espectro radioeléctrico, no hay ninguna duda de que las presiones para efectuar atribuciones adicionales en el espectro radioeléctrico a varios servicios de radiocomunicación pueden afectar a los criterios de protección aeronáutica considerados como criterios de compartición no aeronáuticos. En consecuencia, un servicio de seguridad debe adoptar precauciones considerables para asegurarse de que cualquier servicio radioeléctrico que comparta la misma banda, tenga una limitación suficiente para dejar un margen adecuado de forma que en todas las circunstancias probables la interferencia perjudicial total nunca rebase los criterios de protección requeridos.»

Asimismo, en la Recomendación UIT-R M.1318 – Modelo de evaluación de la protección contra las interferencias para el servicio de radionavegación por satélite en la banda 1559-1610 MHz, contiene, en su Anexo 1, un modelo de evaluación de la interferencia del servicio de radionavegación por satélite. Este modelo especifica la necesidad de un factor denominado: margen de protección adicional (dB). Su descripción dice así: Margen adicional para garantizar la protección frente a factores tales como el multitrayecto.

2 Finalidad del margen de seguridad

En las aplicaciones de seguridad de la vida humana, es crucial disponer de un margen de seguridad (que puede también denominarse factor de seguridad pública) con el fin de eliminar el riesgo, real aunque no cuantificable, de pérdida de vidas humanas a causa de la existencia de interferencia de radiofrecuencia. Para soportar aplicaciones de seguridad de la vida humana, deben tenerse en cuenta todas las fuentes de interferencia.

3 Aplicaciones del margen de seguridad

La utilización de márgenes de seguridad en los sistemas de navegación está muy introducida. En el Anexo 10 (Adjunto G, Cuadro G-2) de la OACI se especifica un margen de seguridad para los sistema de aterrizaje por microondas (MLS) de 6 dB. El sistema de aterrizaje con instrumentos (ILS) aplica un margen de seguridad de 8 dB (véase la Recomendación UIT-R SM.1009, Apéndice 3 del Anexo 2). En los dos casos el margen se define con respecto a la potencia de la portadora del sistema de navegación. Es decir, para comprobar la calidad de funcionamiento de estos sistemas se reduce la potencia de la señal a partir de su valor nominal en el valor del margen de seguridad, y se realizan entonces pruebas para determinar si el sistema proporciona la calidad de funcionamiento requerida en presencia de interferencia. En otras palabras, el fabricante debe concebir el equipo para que sea capaz de tratar el nivel de interferencia previsto más elevado a la vez que recibe un nivel de señal deseada inferior (en el valor del margen de seguridad) al que de otro modo recibiría. En el caso del GNSS se puede hacer este planteamiento porque la reducción de la potencia de la portadora

en 6 dB o más por debajo del nivel de potencia nominal ocasionaría la pérdida del algoritmo de seguimiento del receptor en los satélites. Esto es debido a que la potencia recibida en un satélite del GNSS es relativamente fija, por lo que los receptores terrenales operan en un gama dinámica pequeña.

Al igual que en los sistemas MLS e ILS, el esquema aplicado por el sistema GNSS define un nivel de interferencia que debe poder tratar el equipo y que quedará recogido en las especificaciones de calidad de funcionamiento del fabricante, definiendo también un nivel por debajo de éste en el valor del margen de seguridad como nivel de la interferencia prevista más elevado.

En el sistema GNSS, el término calidad de funcionamiento crítica del receptor es la relación C/N . Esta relación es el cociente entre la potencia de la portadora C (dBW) y la densidad espectral de potencia de ruido total N_T (dB(W/Hz)). En el GNSS, la mejora resultante de la aplicación del margen a la relación C/N es mucho menor que el propio margen de seguridad. Por ejemplo, un margen de seguridad como el definido para el GNSS de 6 dB (es decir, la interferencia debe reducirse en 6 dB) dará como resultado un incremento de la C/N de 2,48 dB solamente. A título de comparación, en el caso del MLS y el ILS el incremento de la C/N sería igual al margen de seguridad, es decir 6 dB en este caso.

4 Margen de seguridad del GNSS

Como consecuencia del margen de seguridad, el nivel de interferencia no aeronáutica admisible debe ser muy inferior al umbral de interferencia considerado en el diseño. Al desarrollar el límite de -70 dB(W/MHz) de la Recomendación UIT-R M.1343 se utilizó un margen de seguridad de 5,6 dB. Sin embargo, para las aplicaciones de tipo general se ha ajustado ligeramente este margen a 6 dB, lo que le sitúa en la gama de márgenes de servicios de seguridad que han sido adoptados por el UIT-R para otras aplicaciones de seguridad de la vida humana, como se ha subrayado anteriormente. Específicamente, la interferencia causada al SBAS del GNSS es eliminada del modo siguiente:

En los receptores de navegación aérea SBAS con aproximación de precisión de categoría I (véase el Anexo 1) el umbral de interferencia es $-140,5$ dB(W/MHz). Los componentes del umbral de interferencia incluyen: el ruido térmico del receptor y la interferencia intrasistema del satélite basada en el análisis de código aleatorio. Se incluye entonces un margen de seguridad para contrarrestar las incertidumbres del diseño aeronáutico, la autointerferencia futura del GNSS (por ejemplo, la producida por los pseudolites), las fuentes de interferencia desconocidas (como la interferencia de RF industrial) y la interferencia intrasistema basada en el análisis de códigos específicos. Tenido en cuenta el margen de interferencia y el margen de seguridad, la interferencia admisible es de $-146,5$ dB(W/MHz). Este valor debe proteger frente a la interferencia no aeronáutica combinada.

Cuando puede haber más de una fuente de interferencia al mismo tiempo, será necesario repartir el valor de $-146,5$ dB(W/MHz) entre las fuentes de interferencia potenciales. Cuando el receptor GNSS está sujeto a la interferencia máxima causada por una ETM del SMS situada a una distancia de 30 m (hipótesis establecida cuando se desarrolló la Recomendación UIT-R M.1343), no hay sobrante para la interferencia adicional. Esta ETM única aporta la interferencia combinada máxima a la entrada del receptor del GNSS.

En la situación anterior, cuando se limitan las fuentes interferentes no transitorias adicionales a un valor de 10 dB por debajo de -70 dB(W/MHz), la interferencia combinada causada al GNSS aumentará en 0,5 dB.

Cuando el receptor se encuentra en el modo adquisición es 6 dB menos inmune a la interferencia. El nivel de interferencia combinada admisible debe reducirse consecuentemente a fin de proteger este modo de funcionamiento. Al fijar los niveles máximos de las emisiones no deseadas procedentes de

las ETM sobre los sistemas móviles por satélite no OSG, sólo se consideró el modo seguimiento, pues se consideró que los efectos de la interferencia procedente de ETM serían transitorios.

Debe señalarse que los receptores GNSS requieren una protección adicional de 10 dB cuando la señal de interferencia tiene una anchura de banda de 700 Hz o menos.

Se precisa un margen de seguridad aeronáutica de 6 dB para proteger las aplicaciones de seguridad de la vida humana del GNSS. Se pueden necesitar márgenes adicionales dependiendo de:

- los requisitos operacionales del SRNS, incluidos la precisión, disponibilidad, continuidad e integridad;
- el entorno operacional, según se trate de extensiones de tierra o de agua;
- la configuración del SRNS, incluidas las mejoras;
- las repercusiones de las distribuciones estadísticas sobre todos los parámetros utilizados en los análisis de interferencia, salvo que se supongan las condiciones del caso más desfavorable; y
- las fuentes de la interferencia RF que no se han incluido específicamente en el análisis de interferencia pero que pueden constituir contribuciones potenciales a la interferencia del GNSS.

5 Cuantificación del riesgo de interferencia

Los análisis de interferencia que se aplican en las redes de comunicaciones, y que están basados en la indisponibilidad del servicio, no son aplicables a los servicios de seguridad de la vida humana puesto que una interrupción de estos servicios es inaceptable cuando supera una tasa de $1 \times 10^{-6}/h$ (véase más adelante). Además, los análisis no toman en consideración los efectos sobre las emisiones no esenciales del envejecimiento o la disfuncionalidad del equipo, así como las variaciones de la calidad de funcionamiento de una unidad a otra. Existe también la tentación de descontar la repercusión de las fuentes de interferencia que no tienen una aparición periódica. Sin embargo, la comunidad aeronáutica intenta cuantificar los riesgos asociados con los sucesos que puedan causar interrupciones del servicio o pérdidas de información, incluso los muy improbables.

El equipo aeronáutico debe diseñarse de modo que pueda tratar sucesos muy poco frecuentes, partiendo del supuesto de que tales sucesos de hecho se producirán. A la vista de los millones de horas de vuelo que hacen las aeronaves civiles cada año, es cierta la probabilidad de que en alguna parte del mundo se produzca durante el año un suceso muy infrecuente ($1 \times 10^{-6}/h$). Es importante reconocer que cuando se realizan los análisis de interferencia debe evaluarse el riesgo creado por la misma.

La normas de la OACI para los receptores a bordo de aeronaves de los sistemas GBAS y SBAS GNSS estipulan que se produzca un aviso de alerta en la navegación cuando se excede el nivel de susceptibilidad de interferencia RF del receptor. El análisis de riesgos del GNSS asigna un riesgo de 1×10^{-5} por la pérdida de continuidad en la aproximación en el caso de interferencia no GNSS en aproximaciones de la categoría I. El objetivo del requisito de continuidad es limitar los eventos de interferencia RF a una de cada 100 000 aproximaciones. Durante las aproximaciones de precisión, los 6 dB del margen de seguridad aeronáutica pueden ser consumidos por variaciones de la relación C/N del GNSS, como se indica en el § 2. Por consiguiente cualquier aumento en la interferencia no aeronáutica combinada por encima del límite de $-146,5$ dB(W/MHz) (dado en el ejemplo utilizado en el § 4) ocasionaría un suceso de pérdida de continuidad en el receptor del GNSS. Análogamente, cualquier incremento en la interferencia intrasistema GNSS que haga que se rebase el margen de seguridad de 6 dB, produciría también un suceso de pérdida de continuidad en el receptor GNSS en presencia de una señal de interferencia RF en el umbral de interferencia. Un precedente de esta interpretación es la definición de margen dado por la UIT para el ILS en el § 2. Como allí se

establece, la interferencia de RF se evalúa en condiciones de C/N mínima en puntos espaciales seleccionados dentro del volumen de cobertura del ILS. En otros términos, no se asigna ningún crédito a la señal interferente debido a la existencia del margen de seguridad.

6 Consideraciones de conformidad

Cualquier propuesta de compartición de una banda de los servicios SRNA/SRNS debe incluir una exposición de los tipos de fallo del servicio propuesto. La propuesta debe identificar todo fallo que pueda representar una amenaza para el servicio de seguridad original y describir la forma en que tales tipos de fallo deberían ser detectados. Deberá también examinar cómo serán avisados los usuarios del servicio de seguridad y analizar el tiempo que debe transcurrir hasta que se produzca el aviso de alarma. La propuesta describirá también el modo en que serán archivadas para posteriores análisis las características más destacadas de cualquier fallo pertinente. Estos fallos incluirán las excursiones dentro y fuera de banda de la potencia radiada. Debe incluir también las desviaciones del espectro radiado -por ejemplo, banda estrecha versus banda ancha.

En la propuesta se detallará también el modo en que se mantendría el margen de seguridad propuesto en todos los escenarios operacionales pertinentes. Estos análisis incluirán los cálculos de la pérdida de trayecto del servicio propuesto a todos los usuarios del servicio de seguridad. Los análisis han de considerar todos los casos probables de proximidad del servicio propuesto a usuarios de aeronaves, barcos o sistemas terrestres de emergencia del servicio de seguridad. Habrían de tener también en cuenta en un grado razonable la posible multiplicidad de fuentes de interferencia. La propuesta debe asimismo examinar la probabilidad de que el servicio propuesto se encuentre próximo a las infraestructuras radioeléctricas fijas utilizadas por el servicio de seguridad.

Por último, la propuesta ha de considerar la repercusión sobre las ampliaciones recientes o planificadas del servicio de seguridad.

7 Conclusiones

7.1 El margen de seguridad de 6 dB del GNSS da como resultado un margen de la relación C/N de sólo 2,48 dB, basado en un factor de ruido del receptor de 4,4 dB. Este valor de la C/N es menor que los márgenes de seguridad de otros sistemas de navegación definidos por la OACI, pero se encuentra dentro de la gama de márgenes de seguridad aceptada por el UIT-R para los servicios de seguridad.

7.2 La evaluación de la seguridad de los servicios de radionavegación requiere que la probabilidad de que una fuente de interferencia RF no aeronáutica rebase su límite de protección sea menor de 1 en 100 000 aproximaciones de la categoría I. Este riesgo de pérdida de continuidad no se incluye en el margen de seguridad del GNSS.

7.3 El nivel admisible de interferencia no aeronáutica es un número fijo, y representa la interferencia combinada procedente de todas las fuentes conocidas. Si se ponen en funcionamiento nuevos servicios, sus emisiones deben restringirse para que no excedan el nivel de interferencia combinada admisible.
