

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R M.1787-1
(01/2012)**

**Descripción de sistemas y redes del
servicio de radionavegación por satélite
(espacio-Tierra y espacio-espacio) y
características técnicas de estaciones
espaciales transmisoras que funcionan
en las bandas 1 164-1 215 MHz,
1 215-1 300 MHz y 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	Radioastronomía
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, 2012

© UIT 2012

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.1787-1

Descripción de sistemas y redes del servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra y espacio-espacio) y características técnicas de estaciones espaciales transmisoras que funcionan en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz

(Cuestiones UIT-R 217/4 y UIT-R 288/4)

(2009-2012)

Cometido

En esta Recomendación aparece información sobre parámetros orbitales, señales de navegación y características técnicas de sistemas y redes del servicio de radionavegación por satélite (SRNS) (espacio-Tierra y espacio-espacio) que funcionan en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz. La idea es que dicha información se utilice a la hora de evaluar los efectos de la interferencia entre sistemas y redes del SRNS, así como con otros servicios y sistemas.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los sistemas y redes del servicio de radionavegación por satélite (SRNS) proporcionan en todo el mundo información exacta para numerosas aplicaciones de determinación de la posición, navegación y temporización, incluidos los aspectos de seguridad para algunas bandas de frecuencias y bajo ciertas circunstancias y aplicaciones;
- b) que existen varios sistemas y redes en funcionamiento y planificados en el SRNS;
- c) que las Recomendaciones UIT-R M.1902, UIT-R M.1905, UIT-R M.1903 y UIT-R M.1904 proporcionan características técnicas y de funcionamiento y criterios de protección para sistemas y redes del SRNS (espacio-Tierra y espacio-espacio) en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz;
- d) que la Recomendación UIT-R M.1318 incluye un modelo de evaluación de interferencias continuas causadas por otras fuentes radioeléctricas distintas de las del SRNS a sistemas y redes del SNRS en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz y 5 010-5 030 MHz;
- e) que la Recomendación UIT-R M.1901 proporciona directrices sobre esta y otras Recomendaciones relativas a sistemas y redes del SNRS que funcionan en las bandas de frecuencias 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz, 5 000-5 010 MHz y 5 010-5 030 MHz;
- f) que el Informe UIT-R M.766 contiene información relativa al funcionamiento del SRNS en la banda 1 215-1 300 MHz;
- g) que toda estación terrena equipada adecuadamente puede recibir información de navegación procedente de sistemas y redes del SRNS en todo el mundo;
- h) que la Recomendación UIT-R M.1831 proporciona una metodología para estimar la interferencia entre sistemas del SRNS que debe utilizarse en la coordinación entre sistemas y redes del SRNS,

reconociendo

- a) que las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz están atribuidas a título primario al SRNS (espacio-Tierra, espacio-espacio) en las tres Regiones;

- b) que las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz también están atribuidas a título primario a otros servicios en las tres Regiones;
- c) que el uso de la banda 1 215-1 300 MHz en el SNRS está sujeta al número **5.329** del Reglamento de Radiocomunicaciones;
- d) que, de conformidad con el número **5.328B** del RR, la utilización de las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz y 5 010-5 030 MHz por los sistemas y redes del servicio de radionavegación por satélite sobre los cuales la Oficina de Radiocomunicaciones haya recibido la información de coordinación o notificación completa, según el caso, después del 1 de enero de 2005 está sujeta a las disposiciones de los números **9.12**, **9.12A** y **9.13**;
- e) que, de conformidad con el número **9.7** del RR, las estaciones de redes de satélites del SRNS que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios están sujetas a coordinación con otras redes de satélites,

recomienda

1 que en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz, se utilicen las características de las estaciones espaciales transmisoras y las descripciones del sistema que aparecen en los Anexos 1 a 10:

1.1 para determinar la metodología y criterios utilizados en la coordinación mutua de sistemas y redes del SRNS;

1.2 para evaluar los efectos de la interferencia entre sistemas y redes del SRNS (espacio-Tierra y espacio-espacio) y sistemas en otros servicios, teniendo en cuenta la categoría del SRNS con respecto a estos otros servicios;

2 que la siguiente Nota 1 se considere parte de la presente Recomendación.

NOTA 1 – En los Anexos a esta Recomendación, el término «gama de frecuencias de la señal» se refiere a la gama de frecuencias de la señal del SRNS de interés (para sistemas AMDC: frecuencia portadora \pm la mitad de la anchura de banda de la señal (a menos que se indique otra cosa); para sistemas AMDF: frecuencia de base + (número de canal * separación de canales) \pm la mitad de la anchura de banda de la señal). También debe señalarse la gama de número de canales para los sistemas AMDF. La gama de frecuencias de la señal se expresa en MHz.

Anexo 1

Descripción técnica del sistema y características de las estaciones espaciales transmisoras del sistema mundial de navegación por satélite GLONASS

1 Introducción

El sistema GLONASS consta de 24 satélites equiespaciados situados en tres planos orbitales con ocho satélites en cada plano. El ángulo de inclinación de la órbita es 64,8°. Cada satélite transmite señales de navegación en tres bandas de frecuencias: L1 (1,6 GHz), L2 (1,2 GHz) y L3 (1,1 GHz). Los satélites se diferencian por la frecuencia portadora; la misma frecuencia portadora puede ser utilizada por satélites antipodales ubicados en el mismo plano. Las señales de navegación se modulan con un tren de bits continuo (que contiene información sobre las efemérides del satélite y la hora) y también un código pseudoaleatorio para realizar mediciones de pseudodistancia. Un usuario que recibe señales de cuatro o más satélites puede terminar las tres coordenadas del

emplazamiento y los tres vectores de velocidad componentes con una gran precisión. Las determinaciones de navegación son posibles cuando el usuario se encuentra en la superficie de la Tierra o cerca de ella.

1.1 Requisitos de frecuencia

Los requisitos de frecuencia para el sistema GLONASS se basaron en la transparencia de la ionosfera, el balance del enlace radioeléctrico, la sencillez de las antenas de usuario, la supresión del multitrayecto, el coste de los equipos y las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR). Las frecuencias portadoras varían un múltiplo entero de 0,5625 MHz en la banda L1, de 0,4375 MHz en la banda L2 y de 0,423 MHz en la banda L3.

Desde el 2006 nuevos satélites del sistema GLONASS utilizan de 14 a 20 frecuencias portadoras en distintas bandas. En la banda L1 se emplean frecuencias portadoras de 1 598,0625 MHz (la más baja) a 1 605,3750 MHz (la más alta), en la banda L2 frecuencias portadoras de 1 242,9375 MHz (la más baja) a 1 248,6250 MHz (la más alta) y en la banda L3 frecuencias portadoras de 1 201,7430 MHz (la más baja) a 1 209,7800 MHz (la más alta). En el Cuadro 1-1 aparecen los valores nominales de las frecuencias portadoras de las señales de navegación utilizadas en el sistema GLONASS.

CUADRO 1-1

Valores nominales de las frecuencias portadoras de las señales de radionavegación del sistema GLONASS

K (Número de frecuencia portadora)	F_K^{L1} (MHz)	F_K^{L2} (MHz)	F_K^{L3} (MHz)
12	–	–	1 209,7800
11	–	–	1 209,3570
10	–	–	1 208,9340
09	–	–	1 208,5110
08	–	–	1 208,0880
07	–	–	1 207,6650
06	1 605,3750	1 248,6250	1 207,2420
05	1 604,8125	1 248,1875	1 206,8190
04	1 604,2500	1 247,7500	1 206,3960
03	1 603,6875	1 247,3125	1 205,9730
02	1 603,1250	1 246,8750	1 205,5500
01	1 602,5625	1 246,4375	1 205,1270
00	1 602,0000	1 246,0000	1 204,7040
–01	1 601,4375	1 245,5625	1 204,2810
–02	1 600,8750	1 245,1250	1 203,8580
–03	1 600,3125	1 244,6875	1 203,4350
–04	1 599,7500	1 244,2500	1 203,0120
–05	1 599,1875	1 243,8125	1 202,5890
–06	1 598,6250	1 243,3750	1 202,1660
–07	1 598,0625	1 242,9375	1 201,7430

En cada frecuencia portadora se transmiten dos señales de navegación con modulación por desplazamiento de fase (180° de fase) desplazadas 90° (en cuadratura). Se trata de una señal de precisión normalizada (SA) y una señal de alta precisión (HA).

2 Características generales del sistema

El sistema GLONASS proporciona datos de navegación y señales horarias precisas para los usuarios terrenales, marítimos, aéreos y espaciales.

El sistema funciona según el principio de triangulación pasiva. El equipo de usuario del sistema GLONASS mide los pseudoalcances y las pseudovelocidades radiales desde todos los satélites visibles y recibe información sobre las efemérides de los satélites y los parámetros de reloj. Basándose en estos datos, se calculan las tres coordenadas del emplazamiento del usuario y las tres componentes del vector velocidad; asimismo se realiza la corrección en el reloj del usuario y la frecuencia. El sistema GLONASS utiliza el sistema de coordenadas PE-90.

3 Descripción del sistema

El sistema GLONASS consta de tres segmentos principales: segmento espacial, segmento de control y segmento de usuario.

3.1 Segmento espacial

El sistema GLONASS consta de 24 satélites situados en tres planos orbitales con ocho satélites cada uno. Los planos están separados entre sí 120° en longitud. El ángulo de inclinación de la órbita es $64,8^\circ$. Los satélites están equiespaciados 45° en un plano por argumento de latitud. Su periodo de rotación es 11 horas y 15 minutos y la altura de la órbita 19 100 km.

3.2 Segmento de control

El segmento de control consta de un centro de control del sistema y una red de estaciones de comprobación técnica. Dichas estaciones de comprobación técnica miden los parámetros orbitales del satélite y la deriva del reloj con respecto al reloj del sistema principal. Estos datos se transmiten al centro de control del sistema que calcula las efemérides y los parámetros de corrección del reloj para, posteriormente, cursar los mensajes hacia los satélites diariamente a través de las estaciones de comprobación técnica.

3.3 Segmento de usuario

El segmento de usuario consta de un gran número de terminales de usuario de diferentes tipos. El terminal de usuario consiste en una antena, un receptor, un procesador y un dispositivo de entrada/salida. Este equipo puede combinarse con otros dispositivos de navegación para aumentar la precisión y fiabilidad de la navegación. Tal combinación puede ser especialmente útil en plataformas altamente dinámicas.

4 Estructura de la señal de navegación

La estructura de la señal SA es la misma para las bandas L1 y L2 y distinta para la banda L3. Se trata de una secuencia pseudoaleatoria que se suma módulo 2 al tren de datos digitales transmitido a una velocidad de 50 bit/s (L1, L2) y 125 bit/s (L3). La secuencia pseudoaleatoria tiene una velocidad de chip de 0,511 MHz (para L1, L2) y de 4,095 MHz (para L3) y su periodo es 1 ms.

En las bandas L1, L2 y L3, la señal HA también es una secuencia pseudoaleatoria sumada módulo 2 a un tren de datos continuo. La velocidad de chip de la secuencia pseudoaleatoria es 5,11 MHz en las bandas L1 y L2 y 4,095 MHz en la banda L3.

Los datos digitales incluyen información sobre las efemérides del satélite, la hora del reloj y otra información de utilidad.

5 Potencia y espectros de la señal

Las señales transmitidas tienen una polarización dextrógira elíptica con un factor de elipticidad no peor de 0,7 para las bandas L1, L2 y L3. La mínima potencia garantizada de una señal a la entrada de un receptor (suponiendo una ganancia de antena de 0 dBi) es de -161 dBW (-131 dBm) para las señales SA y HA en las bandas L1, L2 y L3.

En el sistema GLONASS se utilizan tres clases de emisiones: 8M19G7X, 1M02G7X, 10M2G7X. En el Cuadro 1-2 aparecen las características de estas señales.

CUADRO 1-2
Características de las señales del sistema GLONASS

Gama de frecuencias	Clase de emisión	Anchura de banda de Tx (MHz)	Máxima potencia de cresta de la emisión (dBW)	Máxima densidad espectral de potencia (dB(W/Hz))	Ganancia de antena (dB)
L1	10M2G7X	10,2	15	-52	11
	1M02G7X	1,02	15	-42	
L2	10M2G7X	10,2	14	-53	10
	1M02G7X	1,02	14	-43	
L3 ⁽¹⁾	8M19G7X	8,2	15	-52,1	12
	8M19G7X	8,2	15	-52,1	

⁽¹⁾ Dos señales GLONASS L3 están desplazadas una con respecto a otra 90° (en cuadratura).

La envolvente del espectro de potencia de la señal de navegación se describe mediante la función $(\text{sen } x/x)^2$, donde:

$$x = \pi(f - f_c) / f_t$$

en la que:

- f : frecuencia considerada
- f_c : frecuencia portadora de la señal
- f_t : velocidad de chip de la señal.

El lóbulo principal del espectro constituye el espectro operacional de la señal. Ocupa una anchura de banda igual a $2f_t$. Los lóbulos tienen una anchura igual a f_t .

Anexo 2

Descripción técnica y características del Sistema Mundial de Determinación de la Posición Navstar (GPS)

1 Introducción

La actual información sobre el Sistema Mundial de Determinación de la Posición Navstar (GPS) está disponible de forma gratuita en el URL <http://www.navcen.uscg.gov/gps/geninfo/>. La información sobre el GPS que funciona en las bandas 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz aparece documentada en la última versión del documento de especificación de la interfaz GPS IS-GPS-200 con sus últimas notificaciones de revisión. La información actualizada sobre el funcionamiento del GPS en la banda 1 164-1 215 MHz figura en la última versión de la especificación de la interfaz IGS IS-GPS-705 con sus últimas notificaciones de revisión. La información sobre los segmentos espacial y de control del GPS está disponible en la publicación *GPS SPS Performance Standard*.

La constelación de satélites GPS de línea de base consiste principalmente en un mínimo de 24 satélites operacionales situados en seis planos orbitales y equiespaciados con una inclinación de 55°. Los satélites GPS circundan la Tierra cada 12 horas emitiendo señales de navegación continuas. El sistema proporciona una determinación precisa de la posición en tres dimensiones de cualquier lugar situado sobre la superficie de la Tierra o cerca de la misma.

1.1 Requisitos de frecuencia del GPS

Los requisitos de frecuencia para el sistema GPS se basan en una evaluación de los requisitos de precisión del usuario, la resolución del retardo de propagación espacio-Tierra, la supresión multitrayecto y la configuración de los equipos. Dos canales están centrados en 1 575,42 MHz (señal GPS L1) y 1 227,6 MHz (señal GPS L2). Un tercer canal GPS centrado en 1 176,45 MHz (señal GPS L5) soporta las aplicaciones de aviación civil.

El canal L1 se utiliza para determinar el emplazamiento de un usuario con una precisión de 22 m. Una segunda señal transmitida en los canales L1 y L2 proporciona a los receptores de código $P(Y)$ la diversidad en frecuencias necesaria y una anchura de banda más amplia para aumentar la precisión en la determinación de la distancia, para obtener la adecuada resolución del retardo de propagación Tierra-espacio y para suprimir el efecto multitrayecto a fin de incrementar la precisión total a un orden de magnitud. Puede utilizarse cualquier combinación de dos o más canales con objeto de ofrecer la diversidad en frecuencias necesaria y una anchura de banda más amplia a fin de aumentar la precisión del alcance para la resolución y redundancia del retardo de propagación Tierra-espacio. Las señales civiles L1 y L5 proporcionan esta capacidad a los receptores de aviación civil y las señales L1, L2 y L5 también proporcionan esta capacidad a los receptores de calidad comercial.

2 Características generales del sistema

GPS es un sistema de radiocomunicaciones espacial que funciona de manera continua en cualquier situación meteorológica para la navegación, el posicionamiento y la transferencia de la hora y que ofrece información tridimensional sobre la velocidad y la posición extremadamente precisa junto con una referencia de hora común exacta a los usuarios adecuadamente equipados que se encuentran en cualquier punto de la superficie de la Tierra o en sus proximidades.

El sistema funciona según el principio de triangulación pasiva. El equipo de usuario GPS mide en primer lugar las pseudodistancias a cuatro satélites, calcula sus posiciones y sincroniza su reloj con el GPS utilizando las efemérides recibidas y los parámetros de corrección del reloj. (Las mediciones se denominan «pseudo» porque se realizan mediante un reloj de usuario poco preciso y contienen términos que presentan un sesgo fijo debido a los desplazamientos del reloj de usuario con respecto a la hora GPS). A continuación determina la posición tridimensional del usuario en un sistema de coordenadas cartesianas WGS-84 centrado y fijo con relación a la Tierra así como el desplazamiento del reloj de usuario con respecto a la hora GPS, calculando esencialmente la solución simultánea de cuatro ecuaciones de distancia.

De forma similar, pueden estimarse la velocidad tridimensional del usuario y el ritmo de su reloj de usuario resolviendo cuatro ecuaciones de velocidad a partir de las mediciones de pseudovelocidad con respecto a los cuatro satélites.

GPS¹ proporciona el servicio de determinación de la posición normalizado (SPS) a los usuarios civiles.

3 Segmentos del sistema

El sistema consta de tres segmentos principales: segmento espacial, segmento de control y segmento de usuario. A continuación se describe la función principal de cada segmento.

3.1 Segmento espacial

El segmento espacial comprende los satélites GPS que funcionan como puntos de referencia «celestes» y emiten desde el espacio señales de navegación con codificación precisa de la hora. La constelación operacional consta de un mínimo de 24 satélites en órbitas de 12 horas con un semieje mayor de unos 26 600 km. Los satélites están situados en seis planos orbitales inclinados 55° con respecto al Ecuador. Normalmente hay un mínimo de cuatro satélites en cada plano.

El satélite es un vehículo con estabilización triaxial. Los elementos esenciales de su carga útil de navegación principal son la frecuencia atómica patrón para lograr una temporización precisa, el procesador para almacenar los datos de navegación, el dispositivo de señales de ruido pseudoaleatorio (PRN) para generar la señal de distancia, y la antena transmisora en la banda L. Aunque las transmisiones en una sola frecuencia proporcionan los datos de navegación básicos, las transmisiones en múltiples frecuencias permiten corregir los retardos ionosféricos en el tiempo de propagación de la señal.

3.2 Segmento de control

El segmento de control consta de una estación de control principal (MCS), antenas en el suelo y una red de estaciones de comprobación técnica. La MCS es responsable de todos los aspectos de control de la constelación.

3.3 Segmento de usuario

El segmento de usuario es el conjunto de todos los equipos de usuario y sus equipos de soporte. El equipo de usuario consiste típicamente en una antena, un receptor/procesador GPS, un ordenador y dispositivos de entrada/salida. Adquiere y sigue las señales de navegación procedentes de los cuatro o más satélites que se ven, mide sus tiempos de propagación y desplazamientos de frecuencia por efecto Doppler, los convierte en pseudodistancias y pseudovelocidades, y determina mediante estos

¹ GPS tiene previsto iniciar a principios de 2018 la producción de sistemas SRNS para la supervisión de la integridad de la constelación GPS.

datos la posición tridimensional, la velocidad y la hora GPS. (La hora GPS es distinta de la hora UTC pero la diferencia es menor de un segundo y las señales GPS incorporan la información para realizar la conversión entre ambas. Además, la hora GPS es continua mientras que la hora UTC tiene segundos intercalares.) Los equipos de usuario van desde receptores relativamente sencillos, ligeros y portátiles hasta receptores perfeccionados integrados con otros sistemas o sensores de navegación para obtener una buena calidad de funcionamiento en condiciones altamente dinámicas.

4 Estructura de la señal GPS

La señal de navegación GPS transmitida desde los satélites consiste en tres portadoras moduladas: L1 en la frecuencia central de 1 575,42 MHz ($154 f_0$), L2 en la frecuencia central de 1 227,6 MHz ($120 f_0$), y L5 en la frecuencia central de 1 176,45 MHz ($115 f_0$), donde $f_0 = 10,23$ MHz. f_0 procede de la frecuencia atómica patrón con la cual están relacionadas de modo coherente todas las señales generadas. En el texto que sigue, se indican las señales en cada frecuencia portadora GPS (y las que tienen más de un componente se describen detalladamente) y se hace una breve descripción de los parámetros de RF y de procesamiento de la señal.

En la portadora L1, el GPS transmite las tres señales siguientes: L1 C/A, L1 P(Y) y L1C que se describen en la sección 6.1.

En la portadora L2, el GPS transmite también tres señales denominadas L2 C/A, L2 P(Y) y L2C, que se describen en la sección 6.2.

En la portadora L5, el GPS transmite una sola señal, denominada L5. Esta señal tiene dos componentes transmitidos en cuadratura de fase que se describen en el § 6.3.

En los Cuadros 2-1, 2-2 y 2-3 aparecen los valores de los parámetros fundamentales de las transmisiones de las señales GPS L1, L2 y L5, respectivamente. Estos parámetros incluyen las siguientes características de RF: gama de frecuencias de la señal; anchura de banda a 3 dB del filtro de transmisión en RF del satélite; método de modulación de la señal y mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de una antena del receptor situada sobre la superficie de la Tierra.

En los Cuadros también se indican los parámetros de procesamiento digital de la señal incluida la velocidad de chip de código del ruido pseudoaleatorio (PRN) y las velocidades binarias de los símbolos y datos del mensaje de navegación. Además, para cada frecuencia portadora se proporcionan los parámetros de la antena de transmisión del satélite relativos a la polarización y máxima elipticidad.

Las funciones de los códigos de distancia (también denominados códigos PRN) son dobles:

- ofrecen buenas propiedades de acceso múltiple entre los distintos satélites ya que todos los satélites transmiten en las mismas dos frecuencias portadoras y se diferencian uno de otro únicamente por los códigos PRN únicos que utilizan; y
- sus propiedades de correlación permiten realizar una medición precisa de la hora de llegada y un rechazo de las señales multitrayecto y de interferencia.

Los valores indicados en los Cuadros 2-1, 2-2 y 2-3 son los recomendados para su utilización en evaluaciones iniciales de la compatibilidad en RF con el GPS.

5 Potencia y espectros de la señal

Los satélites GPS utilizan una antena de haz conformado que emite una potencia casi uniforme dirigida a receptores situados cerca de la superficie de la Tierra. Las señales transmitidas en las portadoras L1, L2 y L5 tienen una polarización circular dextrógira con la elipticidad de caso más desfavorable mostrada en los Cuadros 2-1, 2-2 y 2-3 para la gama angular de $\pm 14,3^\circ$ desde el nadir.

6 Parámetros de transmisión GPS

A continuación se indican las características de las transmisiones de la señal GPS.

Además de las modulaciones con desplazamiento de fase (MDP), el GPS utiliza modulaciones BOC. BOC(m,n) se refiere a una modulación de portadora desplazada binaria con un desplazamiento de la frecuencia portadora de $m \times 1,023$ (MHz), una velocidad de código de $n \times 1,023$ (Mchip/s) y una densidad espectral de potencia normalizada que viene dada por la expresión:

$$BOC_{m,n}(f) = f_c \left[\frac{\text{sen}\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \text{tg}\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)}{\pi f} \right]^2$$

donde:

f : frecuencia (MHz)

f_c : velocidad de chip; es decir $n \times 1,023$ Mchip/s

f_s : frecuencia de onda cuadrada de la portadora desplazada; es decir $m \times 1,023$ MHz.

Las modulaciones BOC utilizadas por el GPS crean transiciones de fase adicionales en cada periodo de chip de código PRN disperso. El número de transiciones de fase adicionales es función de m y n , como se ha definido anteriormente, y es (m/n) veces la velocidad de chip de código PRN.

6.1 Parámetros de la transmisión GPS L1

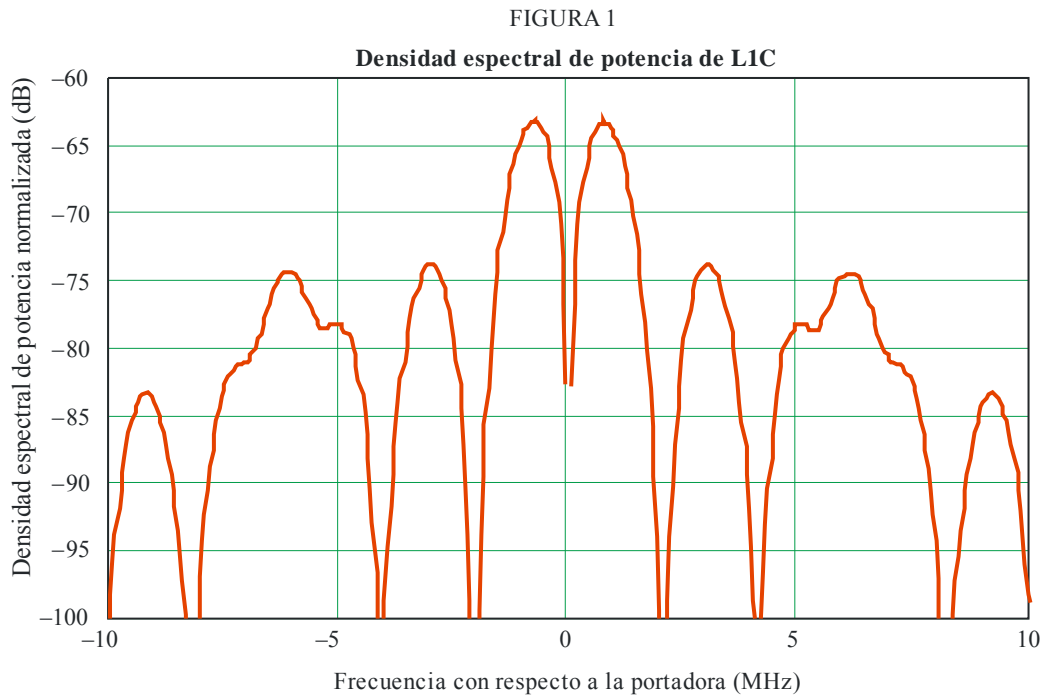
El GPS emite varias señales en la banda 1 559-1 610 MHz del SRNS. Las señales incluyen L1 C/A, L1C, y L1 P(Y). La señal L1C consta de dos componentes. Un componente, denominado L1C_D, se modula mediante un mensaje de datos y el otro, denominado L1C_P, se transmite sin datos (es decir, solo una señal piloto) y los dos componentes usan diferentes códigos PRN. (El componente sin datos mejora la adquisición del SRNS y las características de seguimiento). L1 P(Y) y ambos componentes L1C se transmiten en fase, mientras que C/A se transmite en cuadratura con dichas señales y con un desfase de 90°. Los parámetros fundamentales de las transmisiones GPS L1 aparecen en el Cuadro 2-1.

L1C_D utiliza una modulación BOC(1,1). L1C_P utiliza una modulación denominada MBOC, multiplexada en el tiempo entre una BOC(1,1) y BOC(6,1). MBOC tiene una densidad de potencia espectral normalizada que viene dada por:

$$MBOC(f) = \frac{29}{33} BOC_{1,1}(f) + \frac{4}{33} BOC_{6,1}(f)$$

La densidad espectral de potencia de las componentes de L1C se representa en la Fig. 1 y viene dada por:

$$S(f) = \frac{1}{4} BOC_{1,1}(f) + \frac{3}{4} MBOC(f) = \frac{10}{11} BOC_{1,1}(f) + \frac{1}{11} BOC_{6,1}(f)$$



M.1787-01

CUADRO 2-1

Transmisiones GPS L1 en la banda 1 559-1 610 MHz

Parámetro	Valor del parámetro
Gama de frecuencias de la señal (MHz)	1 575,42 ± 15,345
Velocidad de chip de código PRN (Mchip/s)	1,023 (C/A, L1C _D y L1C _P) 10,23 (P(Y))
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	50 (C/A, P(Y) y L1C _D)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	50 (C/A y P(Y)) 100 (L1C _D)
Método de modulación de la señal	MDP2-R(1) (C/A) MDP2-R(10) (P(Y)) BOC(1,1) (L1CD) MBOC(L1CP) (Véase Nota 3) (Véase Nota 1)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	Máximo 1,8
Mínimo nivel de potencia recibida a la salida de la antena de referencia (dBW)	-158,5 (C/A) -163,0 (L1CD) -158,25 (L1CP) -161,5 (P(Y)) (Véase Nota 2)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	30,69

Notas relativas al Cuadro 2-1:

NOTA 1 – Para los parámetros GPS del SRNS, MDP2-R(n) se refiere a una modulación con desplazamiento de fase binaria que utiliza chips rectangulares con una velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s). BOC(m,n) se refiere a una modulación con desplazamiento de portadora binaria y un desplazamiento de frecuencia portadora de $m \times 1,023$ (MHz) y velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s).

NOTA 2 – La mínima potencia recibida se mide a la salida de una antena receptora de usuario de referencia con polarización lineal de 3 dBi (situada cerca del suelo) con la orientación normal más desfavorable cuando el satélite se encuentra con un ángulo de elevación de 5° por encima del horizonte de la Tierra visto desde la superficie de la misma.

NOTA 3 – Para más detalles sobre MBOC véase el texto del punto anterior a este cuadro.

6.2 Parámetros de transmisión GPS L2

GPS emite varias señales en la banda 1 215-1 300 MHz del SRNS. Las señales incluyen L2 C/A (raramente), L2C, y L2 P(Y). La señal L2C civil es un multiplex por división en el tiempo de un canal de datos de navegación (denominado simplemente canal de datos) y un canal sin datos (también denominado canal piloto) transmitido con fase coherente. Estos dos componentes de señal utilizan diferentes códigos PRN. Los parámetros fundamentales de las transmisiones GPS L2 aparecen en el Cuadro 2-2.

CUADRO 2-2

Transmisiones GPS L2 en la banda 1 215-1 300 MHz

Parámetro	Valor del parámetro
Gama de frecuencias de la señal (MHz)	1 227,6 \pm 15,345
Velocidad de chip de código PRN (Mchip/s)	1,023 (C/A y L2C) 10,23 (P(Y))
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	50 (C/A y P(Y)) 25 (L2C)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	50 (C/A, P(Y) y L2C)
Método de modulación de la señal	MDP2-R(1) (C/A y L2C) MDP2-R(10) (P(Y)) (Véase Nota 1)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	Máximo 3,2
Mínimo nivel de potencia recibida a la salida de la antena de referencia (dBW)	-164,5 (C/A y P(Y)) -160,0 (L2C) (Véase Nota 2)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	30,69

NOTA 1 – Para los parámetros GPS del SRNS, MDP2-R(n) se refiere a una modulación con desplazamiento de fase binaria que utiliza chips rectangulares con una velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s). BOC(m,n) se refiere a una modulación con desplazamiento de portadora binaria y un desplazamiento de frecuencia portadora de $m \times 1,023$ (MHz) y velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s).

NOTA 2 – La mínima potencia recibida se mide a la salida de una antena receptora de usuario de referencia con polarización lineal de 3 dBi (situada cerca del suelo) con la orientación normal más desfavorable cuando el satélite se encuentra con un ángulo de elevación de 5° por encima del horizonte de la Tierra visto desde la superficie de la misma.

6.3 Parámetros de transmisión GPS L5

GPS emite la señal L5 de navegación en la banda 1 164-1 215 MHz del SRNS. La señal L5 está constituida por dos componentes, L5I y L5Q. L5Q no tiene datos (también se denomina un canal piloto). L5I está modulada por un mensaje de datos que proporciona información sobre temporización, navegación y posicionamiento. Estos dos componentes L5 funcionan en cuadratura de fase, utilizan diferentes códigos PRN y se transmiten con igual potencia. Los parámetros fundamentales de las transmisiones GPS L5 aparecen en el Cuadro 2-3.

CUADRO 2-3

Transmisiones GPS L5 en la banda 1 164-1 215 MHz

Parámetro	Valor del parámetro
Gama de frecuencias de la señal (MHz)	1 176,45 ± 12
Velocidad de chip de código PRN (Mchip/s)	10,23
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	50 (L5I)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	100 (L5I)
Método de modulación de la señal	MDP2-R(10) (Véase Nota 1)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	Máximo 2,4
Mínimo nivel de potencia recibida a la salida de la antena de referencia (dBW)	-157,9 (L5I) -157,9 (L5Q) (Véase Nota 2)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	24

NOTA 1 – Para los parámetros GPS del SRNS, MDP2-R(*n*) se refiere a una modulación con desplazamiento de fase binaria que utiliza chips rectangulares con una velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s).

NOTA 2 – La mínima potencia recibida se mide a la salida de una antena receptora de usuario de referencia con polarización lineal de 3 dBi (situada cerca del suelo) con la orientación normal más desfavorable cuando el satélite se encuentra con un ángulo de elevación de 5° por encima del horizonte de la Tierra visto desde la superficie de la misma. La potencia total recibida para la combinación de la señal en cuadratura L5I y L5Q es -154,9 dBW. Los futuros sistemas GPS que están actualmente en adquisición aumentarán la potencia transmitida hasta -157,0 dBW (L5I) y -157,0 dBW (L5Q). No obstante, todavía hay que determinar las consecuencias de ese aumento.

Anexo 3

Descripción técnica y características del sistema Galileo

1 Introducción

El sistema Galileo consta de una constelación de 30 satélites (27 satélites primarios y tres satélites de reserva en órbita) con diez satélites en cada uno de los tres planos orbitales equiespaciados con una inclinación de 56°. Cada satélite transmite las mismas cuatro frecuencias portadoras para señales de navegación. Estas señales de navegación se modulan con un tren de bits estructurado que contiene datos de efemérides codificados y señales horarias con una anchura de banda suficiente para conseguir la precisión de navegación necesaria sin recurrir a la transmisión bidireccional o a la integración Doppler. El sistema ofrece una determinación de la posición precisa en tres dimensiones de cualquier punto situado sobre la superficie de la Tierra o cerca de la misma.

1.1 Requisitos de frecuencia

Los requisitos de frecuencia del sistema Galileo se basan en una evaluación de los requisitos de precisión del usuario, la resolución del retardo de propagación espacio-Tierra, la supresión del multitrayecto y el coste y configuración de los equipos. Para el funcionamiento de Galileo se utilizan cuatro canales iniciales: cada satélite del Galileo transmite permanentemente cuatro señales de RF coherentes pero utilizables de manera independiente (1 176,45 MHz (E5a), 1 207,14 MHz (E5b), 1 278,75 MHz (E6) y 1 575,42 MHz (E1). Las señales E5a y E5b están multiplexadas en una única modulación, denominada A/tBOC (señal BOC alternativa), que utiliza una única portadora de 1191,795 MHz. Se transmiten un total de diez señales multiplexadas y moduladas por las tres portadoras mencionadas anteriormente y se dividen entre los diferentes servicios. Las tres transmisiones comprenden componentes que pueden hacerse corresponder para proporcionar los servicios de «posicionamiento/navegación/temporización» (PNT) en distintas configuraciones. Una cierta variedad de configuraciones del receptor adoptará una o varias componentes adaptadas a las aplicaciones y a las demandas específicas del usuario. Todas las componentes de la señal (portadoras, subportadoras, códigos de distancia y velocidades binarias de datos) se obtienen de forma coherente a partir de un generador de reloj atómico común a bordo del satélite.

Esta diversidad en frecuencia y la amplia anchura de banda utilizada por Galileo aumentará la precisión en la determinación de la distancia para la resolución del retardo de propagación espacio-Tierra y mejorará la supresión multitrayecto para aumentar la precisión total.

2 Características generales del sistema

Galileo es un sistema de radionavegación espacial que funciona de manera continua en cualquier situación meteorológica y que ofrece señales de navegación, posicionamiento y transferencia de la hora proporcionando una información tridimensional sobre la velocidad y la posición tridimensional extremadamente precisa junto con una referencia de hora común exacta a los usuarios adecuadamente equipados y que se encuentran en cualquier punto de la superficie de la Tierra o en sus proximidades.

El sistema funciona según el principio de triangulación pasiva. El equipo del usuario de Galileo mide en primer lugar las pseudodistancias a cuatro satélites, determina sus posiciones y sincroniza su reloj a la hora del sistema Galileo utilizando las efemérides recibidas y los parámetros de corrección del reloj. A continuación calcula la posición tridimensional del usuario en un marco de referencia terrenal Galileo (GTRF) compatible con el Sistema Internacional de Referencia

Terrestre (ITRS) y se determina el desplazamiento del reloj de usuario con respecto a la hora del Galileo calculando esencialmente la solución simultánea de cuatro ecuaciones de distancia.

De forma similar, pueden estimarse la velocidad tridimensional del usuario y el ritmo de su reloj de usuario resolviendo cuatro ecuaciones de velocidad a partir de las mediciones de pseudovelocidad con respecto a cuatro satélites. Las mediciones se denominan «pseud» porque se efectúan mediante un reloj de usuario poco preciso (de bajo coste) en el receptor y contienen términos que presentan un sesgo fijo debido a los desplazamientos del reloj del receptor con respecto a la hora del Galileo.

2.1 Aplicaciones del sistema Galileo

«Seguridad de la vida humana» (SoL)

El «servicio de seguridad de la vida humana» de Galileo está disponible para aplicaciones críticas en la aviación (desde operaciones de navegación en ruta hasta aproximaciones de precisión), el transporte por ferrocarril y el dominio marítimo.

Comercial

Galileo proporciona un servicio de difusión de datos comercial que facilita el desarrollo de aplicaciones profesionales y ofrece un comportamiento mejorado en comparación con el servicio básico, especialmente en lo que se refiere a garantía del servicio.

Mercado de masas

Galileo proporciona un servicio básico abierto y gratuito que implica fundamentalmente aplicaciones para el gran público y servicios de interés general. Este servicio se destina a comunidades de usuario comparables a aquellas a las que está destinado el GPS SPS. Es interfundable con el GPS.

Gubernamental

Galileo proporciona un servicio regulado público encriptado (PRS) restringido en su utilización a autoridades públicas responsables de la protección civil, la seguridad nacional y la aplicación y cumplimiento de la ley.

3 Segmentos del sistema

El sistema consta de tres segmentos principales: segmento espacial, segmento de tierra y segmento de usuario. A continuación se describen las principales funciones de cada uno de estos segmentos.

3.1 Segmento espacial

El segmento espacial comprende los satélites Galileo que funcionan como puntos de referencia «celestes» y emiten desde el espacio señales de navegación con codificación precisa de la hora. La constelación operacional de 27 satélites (más tres satélites de reserva) funciona en órbitas de 14 horas y semieje mayor de unos 30 000 km. Los satélites están colocados en tres planos orbitales inclinados 56° con respecto al Ecuador. Hay diez satélites en cada plano.

3.2 Segmento de tierra

El segmento de tierra Galileo controla toda la constelación Galileo supervisando la pertinencia de los datos del satélite y cargándolos en el mismo para su posterior difusión a los usuarios. Los elementos fundamentales de estos datos, sincronización de reloj y efemérides orbitales se calcularán a partir de mediciones realizadas por una red mundial de estaciones.

El segmento en tierra proporciona las siguientes funciones:

- gestión de la constelación y control de los satélites;
- procesamiento y control de la navegación y la integridad;
- mantenimiento del vehículo espacial y supervisión de su comportamiento (TTC);
- enlaces ascendentes de los datos de la misión.

3.3 Segmento de usuario

El segmento de usuario es el conjunto de todos los equipos de usuario y sus equipos de soporte. El equipo de usuario consiste típicamente en una antena, un receptor/procesador Galileo, un ordenador y dispositivos de entrada/salida. Adquiere y sigue las señales de navegación procedentes de todos los satélites a la vista, las convierte en pseudodistancias y pseudovelocidades y determina la posición tridimensional, la velocidad y la hora del sistema.

4 Estructura de la señal del Galileo

A continuación figura una breve descripción de las señales del Galileo disponibles para su utilización en aplicaciones de navegación y determinación de la hora.

4.1 Señal Galileo E1

La señal Galileo E1 se transmite en la frecuencia central 1 575,42 MHz.

Consta de tres componentes que pueden utilizarse de forma autónoma o en combinación con otras señales dependiendo del comportamiento solicitado a la aplicación. Los componentes se proporcionan fundamentalmente para el Servicio Abierto (OS), la «Seguridad de la vida humana» (SoL) y el Servicio público regulado (PRS), que incluyen todos ellos un mensaje de navegación. La portadora Galileo E1 presenta una modulación MBOC (consistente en el componente de datos E1-B y en el componente sin datos E1-C) para el OS y el SoL y una modulación en coseno BOC(15,2.5) (constituida por el componente E1-A) para el PRS. El tren de datos E1-B también incluye mensajes de integridad.

La modulación BOC es una manera de constituir la forma espectral (distribución de la densidad espectral de potencia con la frecuencia) de una señal transmitida. Las señales de tipo BOC se expresan en la forma $BOC(f_{sub}, f_{chip})$ donde las frecuencias vienen indicadas como múltiplos de la velocidad de chip de código GPS C/A de 1,023 Mchip/s.

La densidad espectral de potencia de la señal del Galileo PRS viene dada por:

$$G_{BOC_{\cos}(f_s, f_c)}(f) = f_c \left[\frac{2 \operatorname{sen}\left(\frac{\pi f}{f_c}\right) \operatorname{sen}^2\left(\frac{\pi f}{4 f_s}\right)}{\pi f \cos\left(\frac{\pi f}{2 f_s}\right)} \right]^2$$

donde:

$f_s = 15 \times 1,023$ MHz es la frecuencia subportadora

$f_c = 2,5 \times 1,023$ MHz es la velocidad de chip.

La modulación MBOC es tal que el espectro $G_{MBOC}(f)$ de la señal es:

$$G_{MBOC}(f) = \frac{10}{11} G_{BOC(1,1)}(f) + \frac{1}{11} G_{BOC(6,1)}(f)$$

donde:

$$G_{BOC(f_s, f_c)}(f) = f_c \left[\frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)}{\pi f} \right]^2$$

con:

$f_s = 1 \times 1,023$ MHz como frecuencia subportadora y $f_c = 1 \times 1,023$ MHz como velocidad de chip para BOC(1,1)

$f_s = 6 \times 1,023$ MHz como frecuencia subportadora y $f_c = 1 \times 1,023$ MHz como velocidad de chip para BOC(6,1)

CUADRO 3-1

Transmisiones Galileo E1 en la banda 1 559-1 610 MHz

Parámetro	Valor del parámetro
Gama de frecuencias de la señal (MHz)	1 559-1 594
Velocidad de chip de código PRN (Mchip/s)	1,023 (MBOC) 2,5575 ($BOC_{\cos}(15,2,5)$)
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	125 (E1-B)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	250 (E1-B)
Método de modulación de la señal	MBOC (OS/SoL) $BOC_{\cos}(15,2,5)$ (PRS)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Mínimo nivel de potencia recibida a la salida de la antena de referencia (dBW)	-157,25 (MBOC) (Véase Nota 2)

NOTA 1 – Para más detalles sobre MBOC véase el texto de la sección anterior.

NOTA 2 – La mínima potencia recibida en la superficie de la Tierra se mide a la salida de una antena receptora isótropa de 0 dBic para cualquier ángulo de elevación superior o igual a 5°.

4.2 Señal Galileo E6

La señal Galileo E6 se transmite sobre una frecuencia central de 1 278,75 MHz. Esta señal proporciona un canal de distribución de datos para el «servicio comercial» (CS), un «servicio público regulado» (PRS), incluyendo ambos un mensaje de navegación.

La portadora E6 se modula con una modulación MDP2(5) para proporcionar el CS. La portadora Galileo E6 también se modula con un código $BOC_{\cos}(10,5)$ para proporcionar el PRS (el espectro para el Galileo E6 PRS sigue la misma ecuación que la señal E1 PRS anterior, pero con $f_s = 10 \times 1,023$ MHz y $f_c = 5 \times 1,023$ MHz).

CUADRO 3-2

Transmisiones Galileo E6 en la banda 1 215-1 300 MHz

Parámetro	Valor del parámetro
Gama de frecuencias de la señal (MHz)	1 260-1 300
Velocidad de chip de código PRN (Mchip/s)	5,115 (MDP2(5)) 10,23 ($BOC_{\cos}(10,5)$)
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	500 (E6-B)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	1000 (E6-B)
Método de modulación de la señal	MDP2(5) (CS) $BOC_{\cos}(10,5)$ (PRS)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Mínimo nivel de potencia recibida a la salida de la antena de referencia (dBW)	-155,25 (BSK(5)) (Véase Nota 1)

NOTA 1 – La mínima potencia recibida en la superficie de la Tierra se mide a la salida de una antena receptora isótropa de 0 dBic para cualquier ángulo de elevación superior o igual a 5°.

4.3 Señal Galileo E5

La señal Galileo E5 está centrada en 1 191,795 MHz y se genera mediante una modulación AltBOC con una velocidad de subportadora de banda lateral de 15,345 MHz. Este esquema proporciona dos lóbulos laterales.

El lóbulo lateral inferior de Galileo E5 se denomina señal Galileo E5a y proporciona una segunda señal (recepción en frecuencia doble) para el servicio abierto (OS), incluidos los mensajes de datos de navegación.

La señal E5a es una señal de acceso abierto transmitida en la banda E5 que incluye un canal de datos y un canal piloto (o sin datos).

El lóbulo lateral superior de Galileo E5 se denomina señal Galileo E5b y proporciona un servicio abierto (OS) y un servicio de «Seguridad de la vida humana» (SoL), incluido un mensaje de navegación con un mensaje complejo de información de integridad.

La señal E5b es una señal de acceso abierto transmitida en la banda E5 que incluye un canal de datos y un canal piloto (o sin datos).

La densidad espectral de potencia de la señal AltBOC viene dada por:

$$G_{AltBOC}(f) = \frac{f_c}{2\pi^2 f^2} \frac{\cos^2\left(\frac{3\pi f}{2f_s}\right)}{\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)} \left[\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - 2 \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \cos\left(\frac{\pi f}{4f_s}\right) + 2 \right]$$

donde:

$f_s = 15 \times 1,023$ MHz es la frecuencia subportadora

$f_c = 10 \times 1,023$ MHz es la velocidad de chip.

CUADRO 3-3

Transmisiones Galileo E5 en la banda 1 164-1 215 MHz.

Parámetro	Valor del parámetro
Gama de frecuencias de la señal (MHz)	1 164-1 219
Velocidad de chip de código PRN (Mchip/s)	10,23 ($G_{AltBOC}(15,10)$)
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	25 (E5a), 125 (E5b)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	50 (E5a), 250 (E5b)
Método de modulación de la señal	AltBOC(15,10) (Véase Nota 1)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Mínimo nivel de potencia recibida a la salida de la antena de referencia (dBW)	-155,25 para E5a -155,25 para E5b (Véase Nota 2)

NOTA 1 – Para más detalles sobre G_{AltBOC} véase el texto de la sección anterior a este Cuadro.

NOTA 2 – La mínima potencia recibida en la superficie de la Tierra se mide a la salida de una antena receptora isótropa de 0 dBic para cualquier de ángulo de elevación superior o igual a 5°.

Anexo 4**Descripción técnica y características de los sistemas de satélite cuasi cenitales (QZSS)****1 Introducción**

El sistema de satélites cuasi cenital (QZSS) consiste en tres satélites situado cada uno de ellos en tres planos orbitales equiespaciados con una inclinación de 45°. Cada satélite transmite las mismas cuatro frecuencias portadoras para señales de navegación. Dichas señales se modulan con un tren de bits predeterminado que contiene datos de efemérides codificados y señales horarias y con una anchura de banda suficiente para conseguir la precisión de navegación necesaria sin recurrir a la transmisión bidireccional o a la integración Doppler.

1.1 Requisitos de frecuencia

Los requisitos de frecuencia para el sistema QZSS se basan en una evaluación de los requisitos de precisión del usuario, la resolución del retardo de propagación espacio-Tierra, la supresión multitrayecto y el coste y configuración de los equipos. Para el funcionamiento del sistema QZSS se utilizan tres canales iniciales: 1 575,42 MHz (L1), 1 227,6 MHz (L2) y 1 176,45 MHz (L5). Se añadirá una señal experimental (LEX) centrada en la frecuencia de 1 278,75 MHz (LEX).

QZSS proporciona un servicio de navegación para las Regiones del Este Asiático y Oceanía que incluye Japón.

2 Características generales del sistema

QZSS es un sistema de radionavegación espacial que funciona de manera continua en cualquier condición meteorológica y que ofrece señales de navegación, posicionamiento y transferencia de la hora interfesionables para GPS (L1, L2 y L5) y una señal experimental con un mensaje de velocidad de datos más elevada.

El sistema funciona según el principio de triangulación pasiva. El equipo receptor de usuario QZSS mide en primer lugar las pseudodistancias, la variación de las pseudodistancias o las pseudovelocidades con respecto al menos a cuatro satélites y calcula sus posiciones, velocidades y desviaciones de tiempo de sus relojes con respecto a la hora de referencia utilizando los parámetros de efemérides y corrección de reloj recibidos. A continuación determina la posición tridimensional del usuario y la velocidad en un sistema de coordenadas cartesianas centrado y fijo con relación a la Tierra (ECEF) del marco de referencia terrenal internacional (ITRF) y el desplazamiento de reloj de usuario con respecto a la hora de referencia.

3 Segmentos del sistema

El sistema consta de tres segmentos principales: segmento espacial, segmento de control y segmento de usuario. A continuación se describen las funciones principales de cada uno de estos segmentos.

3.1 Segmento espacial

El segmento espacial comprende los satélites QZSS que funcionan como puntos de referencia «celestes» y emiten desde el espacio señales de navegación con codificación precisa de la hora. La constelación operacional de tres satélites funciona en órbitas de 24 horas con un apogeo de 39 970 km y un perigeo de 31 602 km. Cada uno de los tres satélites está situado en su propio plano orbital separado con una inclinación de 45° respecto al Ecuador. Los planos orbitales están equiespaciados (es decir separados 120°) y dos satélites están sincronizados de manera que siempre hay un satélite visible desde Japón para un ángulo de elevación alto.

El satélite es un vehículo estabilizado en los tres ejes. Los elementos esenciales de su carga útil de navegación principal son la frecuencia atómica patrón para lograr una temporización precisa, el procesador para almacenar los datos de navegación, el dispositivo de señales de ruido pseudoaleatorio para generar la señal de distancia y la antena transmisora en la banda 1,2/1,6 GHz cuyo diagrama de ganancia de haz conformado emite señales de potencia casi uniforme en las cuatro bandas de frecuencias 1,2/1,6 GHz a los usuarios situados en la superficie de la Tierra o en sus proximidades. La transmisión de dos frecuencias (por ejemplo L1 y L2) tiene por objeto permitir la corrección de los retardos ionosféricos en el tiempo de propagación de las señales.

3.2 Segmento de control

El segmento de control lleva a cabo las funciones de seguimiento, cálculo, actualización y comprobación necesarias para controlar diariamente todos los satélites del sistema. Consta de una estación de control principal (ECP) situada en Japón donde se efectúa todo el procesamiento de datos y varias estaciones de comprobación situadas a gran distancia unas de otras en la zona visible desde el segmento espacial.

Las estaciones de comprobación técnica realizan un seguimiento pasivo de todos los satélites que están a la vista y miden datos de distancia y Doppler. Estos datos se procesan en el ECP para calcular las efemérides de los satélites, los desplazamientos de reloj, las derivas de reloj y los retardos de propagación, y a continuación se utilizan para generar mensajes destinados a los

satélites. Esta información actualizada se transmite a los satélites para su almacenamiento en memoria y posterior transmisión como parte de los mensajes de navegación dirigidos a los usuarios.

3.3 Segmento de usuario

El segmento de usuario es el conjunto de todos los equipos de usuario y sus equipos de soporte. El equipo receptor de usuario consiste normalmente en una antena, un receptor/procesador QZSS (que también acomoda las señales GPS), un ordenador y dispositivos de entrada/salida.

Adquiere y sigue las señales de navegación procedentes de los cuatro o más satélites que incluyen uno (o más) satélites QZSS y uno (o más) satélites GPS a la vista, mide sus tiempos de propagación en RF, las fases de las señales de RF y los desplazamientos de frecuencia por efecto Doppler, los convierte en pseudodistancias, fases de portadora y variación de las pseudovelocidades y/o las pseudodistancias, y determina mediante estos datos la posición tridimensional, la velocidad y el desplazamiento de tiempo del receptor con respecto a la hora de referencia.

Los equipos de usuario van desde receptores relativamente sencillos, ligeros y móviles hasta receptores perfeccionados integrados con otros sensores o sistemas de navegación para obtener una buena calidad de funcionamiento en condiciones altamente dinámicas.

4 Estructura de la señal QZSS

Las señales de navegación QZSS transmitidas desde los satélites consisten en cuatro portadoras moduladas: L1 en la frecuencia central 1 575,42 MHz ($154 f_0$), L2 en la frecuencia central 1 227,6 MHz ($120 f_0$), L5 en la frecuencia central 1 176,45 MHz ($115 f_0$) y LEX en la frecuencia central 1 278,75 MHz ($125 f_0$) donde $f_0 = 10,23$ MHz. f_0 es la salida de una unidad de referencia de frecuencia a bordo, con la cual están relacionadas de modo coherente todas las señales generadas.

La señal L1 consta de cuatro señales con modulación por desplazamiento de fase binaria (MDP2) multiplexadas en cuadratura. Dos de ellas se modulan con dos códigos de dispersión de ruido pseudoaleatorio distintos que se añaden en módulo 2 a las salidas de dos registradores de desplazamiento con alimentación lineales de 10 bits, una velocidad de reloj de 1,023 MHz y un periodo de 1 ms. Cada una de ellas se añade en módulo 2 al tren de datos de navegación binario de 50 bit/s/50 símbolo/s o 250 bit/s/500 símbolo/s antes de la MDP2. Las otras dos señales se modulan con dos códigos de dispersión distintos que tienen una velocidad de reloj de 1,023 MHz y con las dos mismas ondas cuadradas de una velocidad de reloj de 0,5115 MHz. El tren de datos se añade módulo 2 a uno de ellas.

La señal L2 es MDP2 con un código de dispersión L2C. El código L2C tiene una velocidad de reloj de 1,023 MHz con códigos de dispersión alternativos y una velocidad de reloj de 0,5115 MHz: L2CM con un periodo de 20 ms y L2CL con un periodo de 1,5 s. Un tren de datos de 25 bit/s/50 símbolo/s se añade módulo 2 al código antes de la modulación de fase.

La señal L5 consta de dos señales MDP2 (I y Q) multiplexadas en cuadratura. Las señales en los canales I y Q se modulan con dos códigos de dispersión L5 distintos. Ambos códigos de dispersión L5 tienen una velocidad de reloj de 10,23 MHz y un periodo de 1 ms. En el canal I se transmite un tren de datos de navegación binario de 50 bit/s/100 símbolo/s y en el canal Q no se transmite ningún dato (es decir, una señal «piloto» sin datos).

La señal LEX también presenta una modulación MDP2. Se utiliza un conjunto de secuencias de código Kasami pequeñas para el código de dispersión con una velocidad de reloj de 5,115 MHz.

5 Potencia y espectros de la señal

Los satélites QZSS utilizan una antena de haz conformado que emite una potencia casi uniforme dirigida hacia los usuarios del sistema. Las señales transmitidas presentan una polarización circular dextrógira con una elipticidad mejor de 1,2 dB para la señal L1 y mejor de 2,2 dB para las señales L2, L5 y LEX. Las potencias de señal recibidas por el usuario para ángulos de llegada hacia los satélites superiores a 10° se definen bajo la hipótesis de una antena receptora con polarización circular dextrógira de 0 dBi

En los Cuadros 4-1, 4-2 y 4-3 aparecen los mínimos valores de la potencia de señal recibida garantizados para las señales L1, L2, L5 y LEX.

6 Frecuencia de funcionamiento

QZSS tiene una señal L1 que funciona en un segmento de la banda 1 559-1 610 MHz, una señal L2 y una señal LEX que funciona en un segmento de la banda 1 215-1 300 MHz y una señal L5 que funciona en un segmento de la banda 1 164-1 215 MHz atribuidas al SRNS.

7 Funciones de telemetría

No es necesario que el QZSS explote señales de telemetría en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz.

8 Parámetros de transmisión del QZSS

Como el QZSS transmite señales de navegación del SRNS espacio-Tierra en cuatro bandas, los parámetros de transmisión QZSS aparecen en cuatro Cuadros que representan las cuatro bandas del SRNS en las que el QZSS transmite las señales de navegación.

8.1 Parámetros de transmisión QZSS L1

QZSS explotará varias señales en la banda del SRNS de 1 559-1 610 MHz. Las señales incluyen L1 C/A, L1C y L1-SAIF. *Aún no se han determinado los parámetros de L1C, por consiguiente los valores de L1C que aparecen en el Cuadro 4-1 están sujetos a modificaciones.*

CUADRO 4-1

Transmisiones QZSS en la banda 1 559-1 610 MHz

Parámetro	Valor del parámetro
Frecuencia de portadora (MHz)	1 575,42
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	1,023
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	50 (C/A), 250 (L1-SAIF), 25 (L1C)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	50 (C/A), 500 (L1-SAIF), 50 (L1C)
Método de modulación de la señal	MDP2-R(1) (C/A y L1-SAIF) BOC(1,1) (L1C) (Véase Nota 1)

CUADRO 4-1 (*Fin*)

Parámetro	Valor del parámetro
Polarización y elipticidad (dB)	Circular dextrógira (RHCP), máximo 1,2
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	-158,5 (C/A) -163 (L1C datos) -158,25 (L1C sin datos) -161 (L1-SAIF) (Véase Nota 2)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	32

NOTA 1 – Para los parámetros QZSS del SRNS, MDP2-R(*n*) se refiere a una modulación con desplazamiento de fase binaria que utiliza chips rectangulares con una velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s). BOC(*m,n*) se refiere a una modulación con desplazamiento de portadora binaria y un desplazamiento de frecuencia portadora de $m \times 1,023$ (MHz) y velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s).

NOTA 2 – La mínima potencia recibida del QZSS supone que la mínima ganancia de la antena del receptor se produce para ángulos de 10° o más por encima del horizonte de la Tierra visto desde su superficie.

8.2 Parámetros de transmisión QZSS L2

QZSS explotará dos señales en la banda del SRNS de 1 215-1 300 MHz. Las señales incluyen L2C y LEX.

CUADRO 4-2

Transmisiones QZSS L2C en la banda 1 215-1 300 MHz

Parámetro	Descripción del parámetro del SRNS
Frecuencia de portadora (MHz)	1 227,6
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	1,023 (L2C)
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	25 (L2C)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	50 (L2C)
Método de modulación de la señal	MDP2-R(1) (L2C) (Véase Nota 1)
Polarización y elipticidad (dB)	Circular dextrógira (RHCP), máximo 2,2
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	Potencia total -160 (Véase Nota 2)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	32

NOTA 1 – Para los parámetros QZSS del SRNS, MDP-R(*n*) se refiere a una modulación por desplazamiento de fase binaria que utiliza chips rectangulares con una velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s).

NOTA 2 – La mínima potencia recibida del QZSS supone que la mínima ganancia de la antena del receptor se produce para ángulos de 10° o más por encima del horizonte de la Tierra visto desde su superficie.

CUADRO 4-3

Transmisiones QZSS LEX en la banda 1 215-1 300 MHz

Parámetro	Descripción del parámetro del SRNS
Frecuencia de portadora (MHz)	1 278,75
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	5,115 (LEX)
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	2 000 (LEX)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	250 (LEX)
Método de modulación de la señal	MDP2-R(5) (LEX) (Véase Nota 1)
Polarización y elipticidad (dB)	Circular dextrógira (RHCP), máximo 2,2
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	Potencia total -155,7 (Véase Nota 2)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	56 (Véase Nota 3)

NOTA 1 – Para los parámetros QZSS del SRNS, MDP-R(n) se refiere a una modulación por desplazamiento de fase binaria que utiliza chips rectangulares con una velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s).

NOTA 2 – La mínima potencia recibida del QZSS supone que la mínima ganancia de la antena del receptor se produce para ángulos de 10° o más por encima del horizonte de la Tierra vista desde su superficie.

NOTA 3 – El valor de 56 MHz no es representativo de la anchura de banda a 3 dB de la señal transmitida.

8.3 Parámetros de transmisión QZSS L5

QZSS explotará dos señales de navegación en la banda 1 164-1 215 MHz del SRNS. Las señales, L5I y L5Q, funcionan en cuadratura y se transmiten con la misma potencia. L5Q no transporta datos (también se denomina un canal «piloto»). Por otro lado, L5I incorpora los datos de navegación que proporcionan información sobre temporización, navegación y determinación de la posición.

CUADRO 4-4

Transmisiones QZSS en la banda 1 164-1 215 MHz

Parámetro	Descripción del parámetro del SRNS
Frecuencia de portadora (MHz)	1 176,45
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	10,23
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	50 (L5I)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	100 (L5I)
Método de modulación de la señal	MDP2-R(10) (Véase Nota 1)
Polarización y elipticidad (dB)	Circular dextrógira (RHCP), máximo 2,2
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	-157,9 por canal (L5I o L5Q) (Véase Nota 2)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	38,0

Notas relativas al Cuadro 4-4:

NOTA 1 – Para los parámetros QZSS del SRNS, MDP-R(n) se refiere a una modulación por desplazamiento de fase binaria que utiliza chips rectangulares con una velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s).

NOTA 2 – La mínima potencia recibida del QZSS supone que la mínima ganancia de la antena del receptor se produce para ángulos de 10° o más por encima del horizonte de la Tierra visto desde su superficie.

Anexo 5

Descripción técnica y características del sistema de aumento basado en el satélite MTSAT (MSAS)

1 Introducción

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) define el Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS) como «un sistema mundial de determinación de la posición y de la hora que incluye una o más constelaciones de satélites, receptores de aeronave y dispositivos de supervisión de la integridad del sistema, mejorado de la forma necesaria a fin de que soporte las características de navegación requeridas para el funcionamiento previsto» y ha desarrollado las normas y prácticas recomendadas internacionales (SARP) para proporcionar un servicio de navegación aérea a escala mundial sin discontinuidades.

El servicio de navegación GNSS se proporciona utilizando varias combinaciones de los siguientes elementos GNSS instalados en tierra, el espacio y/o la aeronave:

- a) Sistema mundial de determinación de la posición (GPS).
- b) Sistema mundial de navegación por satélite (GLONASS).
- c) Sistema de aumento basado en aeronave (ABAS).
- d) Sistema de aumento basado en satélite (SBAS).
- e) Sistema de aumento basado en tierra (GBAS).
- f) Receptor de aeronave del GNSS.

El sistema de aumento basado en el satélite MTSAT (satélite de transporte multifuncional) (MSAS) es un SBAS definido como «un sistema de aumento de cobertura amplia en el que el usuario recibe información de aumento a partir de un transmisor situado en un satélite». El MSAS desempeña el papel de la función del SRNS en el MTSAT.

MSAS utiliza dos MTSAT para mejorar la fiabilidad y robustez del sistema. Cada MTSAT transmite una frecuencia portadora para señales de aumento GPS (señales SRNS). Estas señales incluyen la siguiente información: distancia, estado del satélite GPS, corrección diferencial básica (correcciones de reloj y efemérides del satélite GPS) y corrección diferencial precisa (correcciones ionosféricas).

1.1 Requisitos de frecuencia

Los requisitos de frecuencia para el MSAS se basan en el canal GPS L1 centrado en 1 575,42 MHz.

Los requisitos para la «seguridad» de la navegación aeronáutica destacan la importancia crítica que tiene el que otros servicios de radiocomunicaciones no provoquen interferencia perjudicial a los usuarios del servicio de navegación aérea.

La función MTSAT SRNS requiere una frecuencia de enlace de conexión en el enlace ascendente desde estaciones terrenas en tierra a los satélites y esta utilización no está suficientemente protegida contra otras señales del SFS.

2 Características generales del sistema

El MTSAT constituye segmento espacial del MSAS y radiodifunde la información de aumento GPS a usuarios adecuadamente equipados especialmente para operaciones de «seguridad» de la aviación civil.

El equipo de usuario MSAS mide la posición tridimensional del usuario GPS en un sistema de coordenadas cartesianas WGS-84 centrado y fijo con relación a la Tierra y obtiene la información de integridad GPS generada en la MCS utilizando los datos GPS recibidos en tiempo real en la estación de comprobación técnica en tierra.

3 Segmentos del sistema

El MSAS consta de tres segmentos principales: segmento espacial, segmento en tierra y receptor a bordo de aeronave SBAS (segmento de usuario). A continuación se describe la función principal de cada segmento.

3.1 Segmento espacial

El segmento espacial MSAS es una carga útil de navegación del MTSAT y retransmite señales del SRNS generadas por la estación terrena. La constelación de dos MTSAT funciona en dos órbitas geoestacionarias en 135° E, 140° E o 145° E. MTSAT es un vehículo con estabilización triaxial. Los elementos esenciales de su carga útil de navegación son la antena de recepción para la señal de enlace de conexión procedente de las estaciones en tierra, el convertidor reductor de frecuencia de la banda de 14 GHz a la banda de 1,5 GHz, el amplificador de alta potencia para la señal de enlace de servicio y la antena de transmisión cuyo diagrama de ganancia de haz conformado radia una potencia casi uniforme dirigida a los usuarios.

3.2 Segmentos en tierra

Los segmentos en tierra constan de dos MCS, cuatro estaciones de comprobación técnica en tierra (GMS), dos estaciones de comprobación y mediciones de distancia (MRS) y un subsistema de comunicación de red. La MCS es el núcleo del MSAS y está situada en los centros aeronáuticos de satélites en Hitachi-ohta y Kobe. Construyendo dos estaciones se ha evitado la interrupción del servicio debido a fallos del equipo, catástrofes naturales y efectos climatológicos. La GMS es una instalación que recibe los datos MSAS transmitidos desde el MTSAT y transferidos a las MCS a través del NCS. Recibe las señales GPS L1 y L2 (1 227,6 MHz) del GPS que se utilizan para supervisar las señales GPS así como para estimar el retardo ionosférico. Está ubicada en cuatro emplazamientos; a saber, Sapporo, Tokyo, Fukuoka y Naha. Las MRS tienen la función de recopilar los datos básicos necesarios para determinar la distancia de la posición del MTSAT a fin de crear los datos de determinación de distancia (datos de posición equivalentes a los del GPS) además de las funciones GMS. Las MRS están ubicadas en dos emplazamientos situados en los bordes oriental y meridional de la huella del MTSAT, a saber en Hawai y en Canberra (Australia), para obtener una medición de la distancia de la órbita de alta precisión asegurando unas líneas de base largas.

3.3 Segmento de usuario

El segmento de usuario (receptor a bordo de aeronave SBAS) determina la posición de la aeronave utilizando las constelaciones GPS y la señal SBAS. El receptor a bordo de aeronave SBAS adquiere los datos de distancia y corrección y aplica estos datos para determinar la integridad y mejorar la precisión de la posición obtenida.

4 Estructura de la señal MSAS

Las señales del RNSS para el MSAS son compatibles con las señales GPS L1 y las portadoras moduladas con una frecuencia central de 1 575,42 MHz y una anchura de banda de 2,2 MHz. La secuencia transmitida se suma módulo 2 al mensaje de navegación a una velocidad de 500 símbolo/s y al código de ruido pseudoaleatorio de 1 023 bits. A continuación, se le aplica una MDP2 en la portadora a una velocidad de 1,023 Mchip/s.

5 Potencia y espectros de la señal

MTSAT utiliza una antena de haz conformado que radia una potencia casi uniforme dirigida a los usuarios del MSAS. Las señales transmitidas presentan una polarización circular dextrógira. En el Cuadro 5-1 aparecen las características de la señal MSAS transmitida desde los MTSAT.

CUADRO 5-1

Característica de las señales MSAS

Frecuencia de portadora (MHz)	Tipo de emisión	Anchura de banda asignada (MHz)	Máxima potencia de cresta (dBW)	Máxima densidad de potencia (dB(W/kHz))	Ganancia de antena (dBi)
1 575,42	2M20G1D	2,2	13,0	-17,3	20,0
	2M20G7D	2,2	16,0	-14,3	

6 Frecuencia de funcionamiento

El segmento espacial MSAS funciona en la frecuencia del GPS L1 con una frecuencia de portadora central de 1 575,42 MHz y una anchura de banda de 2,2 MHz en un segmento de la banda 1 559-1 610 MHz atribuido al servicio de radionavegación por satélite.

7 Funciones de telemetría

No es necesario que el MSAS explote señales de telemetría en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz y 5 010-5 030 MHz.

Anexo 6

Descripción técnica y características de las redes LM-RPS

1 Introducción

Las redes LM-RPS constan de satélites de carga útil multicanal del SRNS en órbita geostacionaria y dos estaciones de enlace ascendente en tierra (GUS) que soporta cada una de ellas la carga útil operacional. La implementación actual cuenta con un satélite situado a 133° W de longitud (WL) y un segundo satélite situado a 107,3° WL.

Las redes LM-RPS en 107,3° WL y 133° WL proporcionan un servicio único de difusión del SRNS a la Administración Federal de Aviación (FAA) de Estados Unidos de América ofreciendo una difusión que cubre el sistema de espacio aéreo nacional (NAS) de Estados Unidos. Las redes LM-RPS forman parte del Sistema de Aumento de Área Amplia (WAAS) de la FAA. Pueden añadirse redes LM-RPS adicionales en el futuro para proporcionar un servicio del sistema de aumento basado en el espacio (SBAS) similar a las administraciones de aviación y espacios aéreos nacionales en otras zonas del mundo. Las redes LM-RPS proporcionan datos de aumento que incrementan los datos GPS ofreciendo información de integridad en radiodifusiones GPS y mejora y aumento de la precisión en las señales de medición de distancia GPS para usuarios de la aviación. Estos usuarios dependen del SBAS para incrementar la precisión e integridad de la navegación en las operaciones relativas a la seguridad de la vida humana.

2 Características generales del sistema

Las redes LM-RPS se explotan como un servicio comercial que proporciona el servicio de radiodifusión del SRNS necesario a las administraciones de aviación.

La radiodifusión del mensaje WAAS por las estaciones espaciales de la red LM-RPS proporciona la cobertura del espacio aéreo nacional requerida con un mínimo número de transmisores y elimina una multitud de problemas técnicos asociados con los sistemas de aumento en tierra. La red LM-RPS es un servicio de radiodifusión híbrido que utiliza enlaces ascendentes del SFS y enlaces descendentes del SRNS, lo que lo hace ligeramente más complejo que las emisiones del servicio fijo por satélite (SFS) normal. Los datos del mensaje WAAS sin formatear son recibidos procedentes de las estaciones principales WAAS por las estaciones en tierra LM-RPS en una red de comunicaciones en tierra y se verifican antes de su transmisión al satélite. Las estaciones en tierra aplican corrección de errores en recepción en el mensaje WAAS, lo alinean en el tiempo con la época de subtrama de difusión GPS y a continuación envían el mensaje a la carga útil de navegación que recibe y retransmite el mensaje a los usuarios situados en la superficie de la Tierra y de aviación en los sistemas de espacio aéreo nacional cubiertos.

3 Configuración del sistema

La red LM-RPS consta de dos partes: los satélites o segmento espacial y las estaciones en tierra o segmento en tierra.

3.1 Segmento espacial

Los satélites individuales, inicialmente LM-RPS133W y LM-RPS 107,3 W, y potencialmente el satélite adicional LM-RPS que da servicio a otras zonas del mundo, constituyen el segmento espacial de las redes LM-RPS. Cada satélite funciona de modo independiente, como parte del

WAAS mayor, para proporcionar una señal en el espacio fiable (SiS) casi todo el tiempo (una fiabilidad del 99,9995%).

Los satélites reciben el mensaje WAAS de una de las dos estaciones en tierra de enlace ascendente y lo retransmiten a la Tierra, proporcionando una SiS doble en la zona de cobertura. Futuros planes tienen previsto añadir una tercera SiS para lograr una fiabilidad SiS muy elevada (> 99,9995%).

Cada carga útil de navegación es un simple transpondedor de tipo bucle o «por guiondas acodado». Cada uno recibe el mensaje WAAS transmitido en un par de canales de frecuencia fija en la banda del enlace ascendente del SFS de 6 GHz, denominados LM-RPS C1 y LM-RPS C5, que se filtran y trasladan a las frecuencias del LM-RPS L1 (en la banda 1 559-1 610 MHz) y del LM-RPS L5 (en la banda 1 164-1 215 MHz). Son las mismas frecuencias identificadas en el Anexo 2 como GPS L1 y GPS L5 respectivamente. Los amplificadores y las antenas de transmisión especializadas transmiten las señales del SRNS a la Tierra proporcionando una cobertura de haz global sobre toda la superficie de la Tierra a una altitud de 100 000', que engloba la cobertura del espacio aéreo deseada. La zona de cobertura queda definida por un cono con un ángulo en el vértice de 8,75°.

3.2 Segmento en tierra

Cada par de estaciones terrenas de enlace ascendente (GUS) del LM-RPS funciona como un conjunto redundante que proporciona un enlace ascendente de alta fiabilidad con un satélite LM-RPS.

Las GUS se interconectan mediante una red en tierra que las conecta al sistema WAAS. Las GUS se comunican entre sí y con la estación de control principal WAAS para determinar cuál es la GUS designada como GUS primaria que transmite el mensaje WAAS a la carga útil de navegación y cuál es la GUS de reserva, que transmite el mensaje WAAS a una carga de RF y se encuentra en estado de espera lista para entrar en funcionamiento si la estación primaria falla.

La GUS comprende dos grupos básicos de equipos: equipo de red y procesamiento y equipo de transmisión de radiofrecuencia. El equipo de red y procesamiento recibe y verifica los datos del mensaje WAAS a través de la red en tierra y a continuación lo formatea para que tome la estructura adecuada de la señal a transmitir, dando lugar a una señal de frecuencia intermedia (FI) de 70 MHz. Esta señal de FI se traslada a las frecuencias LM-RPS C1 y C5, se amplifica y se transmite a la carga útil de navegación mediante una antena parabólica en banda C (el equipo de RF).

La GUS cuenta con una antena que recibe la transmisión (enlace descendente) de la carga útil de navegación de las señales LM-RPS y GPS L1 y L5 para calcular y corregir los retardos ionosféricos en el tiempo de propagación de la señal. Este bucle de la señal a la GUS desde la carga útil de navegación permite utilizar la SiS para determinar la distancia a fin de aumentar la disponibilidad de una señal de navegación en emplazamientos e instantes donde no se dispone de suficiente cobertura GPS. La GUS también recibe la transmisión GUS (banda de 6 GHz) y las señales de enlace descendente del satélite L1 y L5 para garantizar que no se ha degradado la señal. Las señales degradadas activan los equipos de procesamiento para que conmuten de la GUS primaria a la de reserva y de la GUS de reserva a la primaria. Si la señal sigue degradada el equipo de procesamiento transmitirá un mensaje de inutilidad en lugar del mensaje de aumento WAAS. La combinación de cuatro GUS y dos satélites LM-RPS, a 133 W y 107,3 W, asegura que estará presente una SiS en la NAS casi permanentemente, logrando la fiabilidad deseada por la FAA. Las posibles y futuras estaciones espaciales LM-RPS en otras posiciones orbitales funcionarán proporcionando fiabilidades similares para las administraciones de aviación en otras regiones.

4 Señal LM-RPS

Las redes LM-RPS transmiten los mensajes de aumento WAAS en cada una de las dos frecuencias, LM-RPS L1 y LM-RPS L5. La comunidad de aviación determina la estructura de la señal para los mensajes SBAS. Dichos mensajes están en el mismo formato y estructura básicos que la señal de navegación GPS transmitida en esas frecuencias por los satélites GPS. Utilizan un formato y estructura GPS ya que están destinadas a ser recibidas como un mensaje GPS por los receptores de usuario equipados adecuadamente.

La estructura de señal común incluye un código C/A con el mensaje WAAS incorporado y un código civil similar a GPS. El sistema está diseñado de manera que una o las dos señales de código C/A y P(Y) pueden incorporarse en los enlaces ascendentes y, por lo tanto, pueden transmitirse en los enlaces descendentes LM-RPS L1 y LM-RPS L5.

El formato de señal para la transmisión LM-RPS L1 se describe con más detalle en la especificación WAAS para L1 (FAA-E-2892B) y el formato de señal para la transmisión LM-RPS L5 se define en la especificación de señal preparada por RTCA para L5 (RTCA/DO-261).

Los niveles de señal de las transmisiones LM-RPS en los canales L1 y L5 a partir de las estaciones espaciales LM-RPS-133W y LM-RPS-107,3W figuran en el Cuadro 6-1. El nivel de señal transmitida disminuye aproximadamente 3 dB con respecto al nivel de cresta en el punto de nadir del satélite hasta el borde de la cobertura para un ángulo del vértice del cono de 8,75°. Cabe esperar que las otras redes LM-RPS actúen de forma similar.

CUADRO 6-1

Intensidad de señal para las señales L1 y L5 procedentes de los satélites LM-RPS

Potencia isotrópica radiada equivalente de cresta (dBW) ⁽¹⁾	LM-RPS L1	LM-RPS L5
LM-RPS-133W	36,6	33,0
LM-RPS-107,3W	34,2	34,9

⁽¹⁾ La potencia de cresta se produce en el punto de nadir de la cobertura de transmisión.

5 Frecuencias de funcionamiento LM-RPS

Las frecuencias del enlace ascendente LM-RPS se eligieron cuidadosamente para utilizar la anchura de banda disponible en las bandas del servicio fijo por satélite sin causar interferencia a los enlaces ascendentes del SRNS o a otros proveedores del SFS. LM-RPS utiliza los enlaces ascendentes de la banda C ampliada (6 425-6 700 MHz) para los satélites LM-RPS-133 W y LM-RPS-107,3 W. Estas frecuencias de enlace ascendente, que se regulan como frecuencias del SFS, se indican aquí como referencia. En el LM-RPS-133W, C1, que se traslada a L1, se utiliza 6 639,27 MHz como frecuencia portadora y C5, que se traslada a L5, se transmite en 6 690,42 MHz. En el LM-RPS-107,3W, C1 se transmite a la frecuencia de 6 625,45 MHz y C5 a la frecuencia de 6 676,45 MHz.

Las frecuencias del enlace descendente, como se ha indicado anteriormente son GPS-L1 en 1 575,42 MHz, y GPS-L5 1 176,45 MHz. Como utilizan las mismas frecuencias que GPS, las señales LM-RPS se diferencian de las otras señales GPS sobre L1 y L5 mediante la utilización de un único código PRN. Esto es idéntico al sistema GPS y su aplicación de los PRN para cada satélite individual. El código PRN se coordina con el operador del sistema GPS a fin de garantizar compatibilidad con GPS y con otras transmisiones de señal similares a GPS.

6 Espectro para las señales de telemando y teledida

Los satélites LM-RPS en 133 WL y 107,3 WL incluyen cargas útiles de navegación que funcionan como «satélites compartimentados» que comparten instalaciones de dos satélites del SFS comerciales. Las funciones de telemando y teledida están integradas en los sistemas de telemando, teledida y seguimiento (TTC) de las aeronaves. Compartiendo estas funciones TTC, LM-RPS no requiere espectro adicional para controlar sus satélites. Los futuros satélites LM-RPS que sirven en otras zonas del mundo podrían funcionar de una forma similar como «satélites compartimentados» o como satélites autónomos con frecuencias TTC especializados en la gama 4/6 GHz.

7 Parámetros de transmisión LM-RPS

Como el LM-RPS transmite señales de navegación del SRNS espacio-Tierra en dos bandas, los parámetros de transmisión LM-RPS aparecen en dos Cuadros que representan las dos bandas del SRNS en las que el LM-RPS transmite las señales de navegación.

7.1 Parámetros de transmisión LM-RPS L1

Los principales parámetros de las transmisiones LM-RPS aparecen en el Cuadro 6-2.

CUADRO 6-2

Transmisiones LM-RPS L1 en la banda 1 559-1 610 MHz

Parámetro	Valores de parámetro
Frecuencia de portadora (MHz)	1 575,42 ± 12
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	1,023
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	250
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	500
Método de modulación de la señal	MDP2-R(1) (Véase Nota 1)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	2,0 máximo
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	-158,5 (Véase Nota 2)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	24,0

NOTA 1 – Para los parámetros LM-RPS del SRNS, MDP2-R(*n*) se refiere a una modulación con desplazamiento de fase binaria que utiliza chips rectangulares con una velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s).

NOTA 2 – La mínima potencia recibida del LM-RPS se mide a la salida de una antena receptora de usuario de referencia con polarización lineal de 3 dBi (situada cerca del suelo) con la orientación normal más desfavorable cuando el satélite se encuentra con un ángulo de elevación de 5° o superior por encima del horizonte de la Tierra visto desde la superficie de la misma.

7.2 Parámetros de transmisión LM-RPS L5

Los parámetros principales de las transmisiones LM-RPS L5 figuran en el Cuadro 6-3.

CUADRO 6-3

Transmisiones LM-RPS L5 en la banda 1 164-1 215 MHz

Parámetro	Valores de parámetro
Frecuencia de portadora (MHz)	1 176,45 ± 12
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	10,23
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	250
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	500
Método de modulación de la señal	MDP2-R(10) (Véase Nota 1)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	2,0 máximo
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	-157,9 (Véase Nota 2)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	24,0

NOTA 1 – Para los parámetros LM-RPS del SRNS, MDP2-R(*n*) se refiere a una modulación con desplazamiento de fase binaria que utiliza chips rectangulares con una velocidad de chip de $n \times 1,023$ (Mchip/s).

NOTA 2 – La mínima potencia recibida del LM-RPS se mide a la salida de una antena receptora de usuario de referencia con polarización lineal de 3 dBi (situada cerca del suelo) con la orientación normal más desfavorable cuando el satélite se encuentra con un ángulo de elevación de 5° o superior por encima del horizonte de la Tierra visto desde la superficie de la misma.

Anexo 7**Descripción técnica del sistema y características de las estaciones espaciales de transmisores del sistema COMPASS****1 Introducción**

El COMPASS consiste en una constelación de 30 satélites no geoestacionarios y 5 satélites geoestacionarios en las posiciones 58,75° E, 80° E, 110,5° E, 140° E y 160° E. Cada satélite transmite las mismas tres frecuencias portadoras para señales de navegación. Estas señales de navegación se modulan con un tren de bits predeterminado que contiene las efemérides codificadas de datos y hora y con una anchura de banda suficiente como para lograr la precisión de navegación necesaria sin recurrir a la transmisión bidireccional o a la integración Doppler. El sistema proporciona una determinación precisa en tres dimensiones de la posición, la velocidad y el tiempo en cualquier punto sobre la superficie de la Tierra o próxima a la misma.

1.1 Requisitos de frecuencia

Los requisitos de frecuencia para el COMPASS se basan en una evaluación de los requisitos de precisión de usuario, resolución del retardo de propagación espacio-Tierra, supresión multitrayecto y coste y configuración de los equipos. Para el funcionamiento de COMPASS se utilizan tres

canales iniciales: 1 575,42 MHz, 1 191,795 MHz, y 1 268,52 MHz. Esta diversidad en frecuencia y la amplia anchura de banda utilizada por el COMPASS aumentará la precisión en la determinación de la distancia para la resolución del retardo de propagación espacio-Tierra y mejorará la supresión multitrayecto con objeto de aumentar la precisión total.

2 Características generales del sistema

El sistema COMPASS es un sistema de radiocomunicaciones espacial que funciona de manera continua en cualquier situación meteorológica para la navegación, el posicionamiento y la transferencia de la hora y que proporciona información tridimensional extremadamente precisa sobre la posición y la velocidad junto con una referencia de hora común exacta a los usuarios adecuadamente equipados que se encuentran en cualquier punto de la superficie de la Tierra o en sus proximidades.

El sistema COMPASS funciona según el principio de triangulación pasivo. El equipo de usuarios COMPASS mide en primer lugar las pseudodistancias a cuatro satélites, calcula sus posiciones y sincroniza su reloj con el COMPASS utilizando las efemérides recibidas y los parámetros de corrección del reloj. A continuación determina la posición tridimensional del usuario y el desplazamiento del reloj de usuario con respecto a la hora del COMPASS, calculando fundamentalmente la solución simultánea de cuatro ecuaciones de distancia.

De forma similar, puede estimarse la velocidad tridimensional del usuario y el ritmo de su reloj resolviendo cuatro ecuaciones de velocidad, a partir de las mediciones de pseudovelocidad con respecto a los cuatro satélites.

3 Segmento del sistema

El sistema consta de tres segmentos principales: segmento espacial, segmento de control y segmento de usuario. A continuación se describe la función principal de cada segmento.

3.1 Segmento espacial

El segmento espacial comprende cinco satélites geoestacionarios y una constelación de 30 satélites no geoestacionarios que funcionan como puntos de referencia «celestes» y emiten desde el espacio señales de navegación con codificación precisa de la hora. Los cinco satélites geoestacionarios están situados respectivamente en 58,75° E, 80° E, 110,5° E, 140° E y 160° E. Además dispone de dos satélites de repuesto inactivos situados en 144,5° E y 84° E. La constelación operativa de 30 satélites no geoestacionarios comprende 27 satélites MEO y 3 satélites OSG inclinados. Los 27 satélites MEO están situados en tres planos orbitales, nueve satélites por plano, con una inclinación aproximada de 55° con respecto al Ecuador y la altura de la órbita es de unos 21 500 km. Los tres satélites OSG inclinados (IOSG) están situados en planos orbitales por una inclinación de unos 55° con respecto al Ecuador y la longitud de cruce es de unos 118° E.

3.2 Segmento de control

El segmento de control realiza las funciones de seguimiento, cálculo, actualización y supervisión necesarias para controlar diariamente todos los satélites del sistema. Consta de una estación de control principal en Pekín, China, donde se efectúa todo el procesamiento de los datos, y varias estaciones de comprobación técnica situadas a gran distancia unas de otras en una zona visible desde el segmento espacial.

Las estaciones de comprobación técnica realizan un seguimiento pasivo de todos los satélites a la vista y miden los datos de distancia y velocidad Doppler. Estos datos se procesan en la estación de

control principal para calcular las efemérides de los satélites, los desplazamientos de reloj, las derivas de reloj y el retardo de propagación y, a continuación, se emplean para generar mensajes destinados a los satélites. Esta información actualizada se transmite a los satélites para almacenamiento en memoria y posterior transmisión por los satélites, como parte de los mensajes de navegación dirigidos a los usuarios.

3.3 Segmento de usuario

El segmento de usuario es el conjunto de todos los equipos de usuario y sus equipos de soporte. El equipo de usuario consiste típicamente en una antena, un receptor/procesador COMPASS, un ordenador y dispositivos de entrada/salida. Adquiere y sigue las señales de navegación procedentes de los cuatro o más satélites a la vista, miden sus tiempos de tránsito en RF, las fases de las señales de RF y las derivas de frecuencia Doppler, las convierte en pseudodistancias, fases de portadora y pseudovelocidades y determina mediante estos datos la posición tridimensional, la velocidad y la hora del sistema. Los equipos de usuario van desde receptores relativamente sencillos, ligeros y portátiles hasta receptores perfeccionados integrados con otros sistemas o sensores de navegación para proporcionar una buena calidad de funcionamiento en condiciones sumamente dinámicas.

4 Estructura de la señal COMPASS

A continuación figura una breve descripción de las señales COMPASS disponibles para su utilización en aplicaciones de navegación y temporización.

4.1 Señales COMPASS en la banda de frecuencias 1 559-1 610 MHz

COMPASS explota dos señales en la banda del SRNS 1 559-1 610 MHz. Las dos señales están centradas en la frecuencia de 1 575,42 MHz.

La señal B1-A utiliza una modulación BOC(14,2). La señal B1-A consta de dos componentes de fase en cuadratura. Un componente, B1-A_D, se modula con un tren de datos de navegación binario de 50 bit/s /100 símbolo/s y el otro componente, B1-A_P, se transmite sin datos.

La señal B1-C consta de dos componentes de fase en cuadratura. Un componente, B1-C_D, se modula con un tren de datos de navegación binaria de 50 bit/s /100 símbolo/s y el otro componente, B1-C_P, se transmite sin datos.

Además de las modulaciones MDP, COMPASS utiliza modulaciones BOC. BOC(*m,n*) indica una modulación binaria con portadora desplazada con un desplazamiento de la frecuencia de portadora de $m \times 1,023$ (MHz) y una velocidad de código de $n \times 1,023$ (Mchip/s) y con una densidad espectral normalizada que viene dada por la expresión:

$$BOC_{m,n}(f) = \frac{nT_{sw}}{m} \frac{\text{sen}\left(\frac{\pi f T_{sw}}{2}\right)^4}{\left(\frac{\pi f T_{sw}}{2}\right)^2} \frac{\text{sen}(n\pi f T_{sw})^2}{\text{sen}(n\pi f T_{sw})^2}$$

B1-C utiliza una modulación MBOC(6,1,1/11).

La densidad espectral de potencia total del componente B1-C viene dada por:

$$S(f) = \frac{10}{11} BOC_{1,1}(f) + \frac{1}{11} BOC_{6,1}(f)$$

4.2 Señales COMPASS en la banda de frecuencias 1 164-1 300 MHz

COMPASS explota cuatro señales en la banda del SRNS 1 164-1 300 MHz. Las señales incluyen B2, B3 y B3-A.

La señal COMPASS B2 está centrada en una frecuencia de 1 191.795 MHz y se genera con una modulación AltBOC(15,10). Esta señal dispone de dos lóbulos laterales.

El lóbulo lateral inferior COMPASS B2 se denomina COMPASS B2_a y consta de dos componentes de fase en cuadratura. Un componente, B2_{a-D}, se modula con un tren de datos de navegación binario de 25 bit/s/50 símbolo/s y el otro, B2_{a-P}, se transmite sin datos.

El lóbulo lateral superior COMPASS B2 se denomina COMPASS B2_b y consta de dos componentes de fase en cuadratura. Un componente, B2_{b-D}, se modula con un tren de datos de navegación binario de 50 bit/s/100 símbolo/s y el otro, B2_{b-P}, se transmite sin datos.

La densidad espectral de potencia de la señal AltBOC viene dada por:

$$G(f) = \frac{4f_c}{\pi^2 f^2} \frac{\cos^2\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)}{\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right)} \left[\cos^2\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) - 2 \cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \cos\left(\frac{\pi f}{4f_s}\right) + 2 \right]$$

donde:

$f_s = 15 \times 1,023$ MHz es la frecuencia de la subportadora

$f_c = 10 \times 1,023$ MHz es la velocidad de chip.

La señal B3 está centrada en 1 268,52 MHz. La portadora es MDP2 con un código de ruido pseudoaleatorio (PRN) con una velocidad de chip de 10,23 Mchip/s (en el canal I o el canal Q), que se añade módulo 2 a un tren de datos de navegación binario de 500 bit/s antes de la modulación.

La señal B3-A también está centrada en 1 268,52 MHz y utiliza una modulación BOC(15,2,5). La señal B3-A consta de dos componentes de fase en cuadratura. Una componente, B3-A_D, se modela con un tren de datos de navegación binario de 50 bit/s/100 símbolo/s y la otra, B3-A_P, se transmite sin datos.

5 Potencia y espectros de la señal

El mínimo nivel de potencia recibido sobre la superficie de la Tierra para cualquier ángulo de elevación igual o superior a 5°, basándose en una antena de receptor de 0 dBi isótropa y con adaptación ideal, es el siguiente:

Señal	Potencia mínima recibida de la red MEO (dBW)	Potencia mínima recibida de la red OSG/IOSG (dBW)
Señal B1-A	-156,9	-157,7
Señal B1-C	-158,0	-157,7
Señal B2 _a /B2 _b	-154,5	-156,8
Señal B3/B3-A	-156,0	-158,3

Anexo 8

Descripción técnica y características de las redes de navegación Inmarsat

1 Introducción

Las redes del transpondedor de navegación Inmarsat constan de ocho satélites de carga útil del SRNS en órbita geoestacionaria para la prestación de capacidad espacial a un sistema SBAS. Cinco cargas útiles del SRNS son cargas útiles de un solo canal sobre los satélites Inmarsat de tercera generación (Inm-3) y tres cargas útiles del SRNS son cargas útiles multicanal sobre los satélites de cuarta generación de Inmarsat (Inm-4). Además de proporcionar servicio en el SRNS, los mismos satélites proporcionan servicio de comunicaciones móviles por satélite en las bandas de frecuencias del SMS de 1,5/1,6 GHz. La información que figura a continuación está actualizada a septiembre de 2008.

Los emplazamientos orbitales de los satélites, en febrero de 2009, son los que figuran en el Cuadro 8-1. Cabe señalar que los satélites pueden desplazarse de vez en cuando dependiendo de los requisitos globales del sistema. Todas las emisiones se coordinan de conformidad con el RR de la UIT. La publicación anticipada pertinente solicita que la información de coordinación y notificación sea presentada por la Administración del Reino Unido.

CUADRO 8-1

Longitudes de las posiciones orbitales del satélite

Satélite	Posición orbital
3F1	64° E
3F2	15,5° W
3F3	178° E
3F4	54° W
3F5	25° E
4F1	143,5° E
4F2	25° E
4F3	98° W

1.1 Características generales del sistema

Actualmente Inmarsat proporciona dos cargas útiles de navegación Inm-3 para los sistemas de aumento espaciales (SBAS), específicamente para el Servicio Global de Navegación de Cobertura Europea (EGNOS).

En el EGNOS actual, la Agencia Espacial Europea (ESA) utiliza dos transpondedores de navegación Inm-3 sobre la Región Oriental del Océano Atlántico (AOR-E) a 15,5° W (satélite 3F2) y la Región Occidental del Océano Índico (IND-W) a 25° E (satélite 3F5).

2 Configuración del sistema

La red de transpondedores de navegación Inmarsat consta de transpondedores de navegación (o segmento espacial) en satélites Inmarsat-3 e Inmarsat-4 disponibles para funciones SBAS.

2.1 Segmento espacial

El transpondedor de navegación en cada una de las series Inm-3 de satélites es un simple transpondedor del tipo traslación de frecuencia o «guiaondas acodado». Cada satélite recibe la señal SBAS enviada por el enlace ascendente en un solo canal de frecuencia fija en la banda de frecuencias 5 925-6 700 MHz del SFS. Esta señal se filtra y traslada a la frecuencia GPS-L1 (centrada en 1 575,42 MHz) y también se transmite por el enlace descendente en la banda de frecuencias 3 400-4 200 MHz del SFS.

Los transpondedores de navegación en cada uno de los satélites Inm-4 también son simples transpondedores de traslación de frecuencia o de tipo «guiaondas acodado». Cada satélite recibe las señales SBAS por enlace ascendente en un par de canales de frecuencia fija en la banda 5 925-6 700 MHz del SFS. Las señales se filtran y se trasladan a la frecuencia GPS-L1 (centrada en 1 575,42 MHz) y la frecuencia GPS-L5 (centrada en 1 176,45 MHz).

En el caso de los satélites Inm-3 e Inm-4, la señal del SRNS se amplifica y se transmite a la Tierra mediante una antena de haz global que proporciona cobertura de la superficie visible de la Tierra y a una aeronave que se encuentra a una altitud de hasta unos 100 000 pies (aproximadamente 30 000 m). Estos sistemas se han diseñado para aumentar la integridad y precisión de las señales de navegación GPS y GLONASS primarias.

2.2 Segmento en tierra

No procede – Inmarsat proporciona únicamente capacidad espacial para SBAS.

3 Señales SBAS

La red de transpondedores de navegación Inmarsat transmite mensajes de aumento SBAS en la frecuencia GPS-L1 únicamente (Inm-3) o en las frecuencias GPS-L1 y GPS-L5 (Inm-4). La comunidad de aviación determina la estructura de la señal para los mensajes SBAS, que se encuentran en el mismo formato y estructura básicos que la señal de navegación GPS transmitida en estas frecuencias por los satélites GPS. Utilizan un formato y estructura GPS ya que están destinadas a ser recibidas por los receptores de usuario adecuadamente equipados, como un mensaje GPS.

La estructura de señal común incluye un código C/A con el mensaje SBAS incorporado y un código civil similar al GPS. El sistema está diseñado de manera que cualquiera de las señales de código C/A y P(Y) pueden incorporarse a los enlaces ascendentes y, por consiguiente, transmitirse en los enlaces descendentes L1 y L5.

El formato para la señal L1 se describe con más detalle en la especificación WAAS para L1 (FAA-E-2892B) y el formato para la señal L5 se define en la especificación de señal preparada por la RTCA para L5 (RTCA/DO-261).

Los niveles de potencia de las señales de navegación transmitidas en L5 y L1 desde las estaciones espaciales Inm-3 e Inm-4 figuran en el Cuadro 8-2. El nivel de la señal transmitida disminuye aproximadamente 3 dB con respecto al valor de cresta en el punto de nadir del satélite en relación al borde de la cobertura para un ángulo con respecto al eje de unos 8,75°.

CUADRO 8-2

**p.i.r.e. nominal* (dBW) de las señales L1 y L5
(haz de cresta)**

Satélite	L1	L5
Inm-3F1	33	N/A
Inm-3F2	33	N/A
Inm-3F3	33	N/A
Inm-3F4	33	N/A
Inm-3F5	33	N/A
Inm-4F1	31,4	29,9
Inm-4F2	31,4	29,9
Inm-4F3	31,4	29,9

* Según los ficheros de Inmarsat de la UIT.

NOTA 1 – La potencia de cresta se produce en el punto de nadir de la cobertura de transmisión.

Las señales se diferencian de otras señales GPS mediante la utilización de un código PRN único. Es idéntico al sistema GPS con su aplicación de distintos códigos PRN para cada satélite individual. El código PRN se coordina con el operador del sistema GPS para garantizar compatibilidad con el GPS y con otras transmisiones de señal similares al GPS.

4 Espectro de telemando y teledida

Los transpondedores de navegación forman parte de una carga útil del satélite más amplia que incluye transpondedores que proporcionan servicios móviles por satélite. Las funciones de telemando y teledida para la parte de navegación están integradas en los sistemas TTC (seguimiento, teledida y telemando) globales del vehículo espacial. Compartiendo las funciones de TTC, no es necesario espectro adicional para controlar los transpondedores de navegación.

Anexo 9

Descripción técnica y características de la red NIGCOMSAT SBAS

1 Introducción

Las redes del sistema de aumento por satélite Nigcomsat (NigSAS) constan de tres satélites geoestacionarios de carga útil del SRNS. La implementación actual es NIGCOMSAT-1G (42,5° E) puesto en órbita el 13 de mayo de 2007. NIGCOMSAT-1A (19,20° W) y NIGCOMSAT-1D (22° E) están en la etapa de planificación. Los tres satélites tendrán las mismas cargas útiles del SRNS.

2 Planes de frecuencia y polarización

Como muestra el Cuadro 9-1, cada satélite recibe la señal SBAS de enlace ascendente en la banda C y transmite por los enlaces descendentes la señal de navegación en la banda L.

CUADRO 9-1

Canal	Frecuencia (MHz)	Polarización	Anchura de banda
C1-enlace ascendente	6 698,42	Polarización circular levógira	4 MHz
C5-enlace ascendente	6 639,45	Polarización circular levógira	20 MHz
L1-enlace descendente	1 575,42	Polarización circular dextrógira	4 MHz
L5-enlace descendente	1 176,45	Polarización circular dextrógira	20 MHz

3 Segmento de usuario

NigSAS está diseñado para que sea compatible con los sistemas de aumento GPS y Galileo, por consiguiente proporcionará integridad y corrección de datos a los receptores compatibles con GPS/Galileo.

4 Segmento en tierra

No es aplicable ya que el objetivo del NigSAS es proporcionar capacidad espacial a las actuales redes SBAS.

5 Servicio de navegación

La cobertura de recepción en la banda L incluye África, Europa Occidental y Oriental y Asia para la carga útil del SRNS NIGCOMSAT-1G.

6 Señal de navegación

El NigSAS transmite mensajes SBAS en las frecuencias portadoras L1 y L5 que utilizan la estructura con formato GPS. Los métodos de modulación de los componentes en fase (I) y en cuadratura (Q) de la señal dependen de la elección de la frecuencia portadora. La señal SBAS de cada satélite se diferencia de otras señales SBAS por el uso de códigos de ruido pseudoaleatorio (códigos PRN). La velocidad binaria de datos de navegación a ambas frecuencias es 50 bit/s.

6.1 Señal L1

La frecuencia L1 de 1 575,42 MHz presenta una modulación MDP2 en el canal I mediante el código PRN L1 de adquisición aproximada con una velocidad de chip de 1,023 Mchip/s y una longitud de código de 1 023. La elección de la modulación del canal Q corresponde al arrendatario de la carga útil del SRNS cuya red GNSS/SBAS existente se aumentará. El Cuadro 9-2 proporciona más información al respecto.

CUADRO 9-2

Frecuencia portadora (MHz)	Denominación de la emisión	Anchura de banda asignada (MHz)	Máxima potencia de cresta (dBW)	Máxima densidad de potencia (dB(W/Hz))	Ganancia de antena (dBi)
1 575,42	4M00X2D	4,0	17,9	-42,1	13,5
	2M20X2D	2,2	17,9	-42,1	

6.2 Señal L5

La frecuencia L5 de 1 176,42 MHz se modula en los canales I y Q por dos códigos PRN L5 distintos. La velocidad de chip de cada código L5 PRN es 10,23 Mchip/s con una longitud de código de 10 230, pero únicamente se modula el componente en fase por los datos de navegación. La velocidad de código más rápida de la señal L5 mejora la función de autocorrelación del segmento de usuario. El Cuadro 9-3 proporciona más información al respecto.

Frecuencia portadora (MHz)	Denominación de la emisión	Anchura de banda asignada (MHz)	Máxima potencia de cresta (dBW)	Máxima densidad de potencia (dB(W/Hz))	Ganancia de antena (dBi)
1 176,45	20M0X2D	20	16,5	-53,5	13,0
	4M00X2D	4	16,5	-43,5	

Anexo 10

Descripción técnica del sistema de navegación por satélite regional indio (IRNSS), del sistema SBAS indio, GAGAN (GPS-Aided Geo-Augmented Navigation), y del sistema mundial de navegación indio (GINS)

1 Introducción

India está implantando su sistema de navegación regional por satélite (IRNSS) sobre el subcontinente indio y zonas adyacentes. El IRNSS funcionará en la banda L5 (1 164-1 215 MHz) y probablemente en la banda L1 (1 559-1 615 MHz). El IRNSS es un sistema de navegación por satélite regional independiente constituido por 7/11 satélites. La constelación básica del IRNSS comprende tres satélites OSG y cuatro satélite no OSG inclinados 29° respecta al Ecuador. El sistema pretende prestar servicios de navegación, determinación de posición y señales horarias precisas. India tiene previsto más adelante desplegar 24 satélites del sistema mundial de navegación indio (GINS) en las bandas L1 y L5.

India está desarrollando un sistema complementario espacial (Space-Based Augmentation System, SBAS), GAGAN (GPS Aided GEO Augmented Navigation) sobre el espacio aéreo indio.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) respaldó el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) como un futuro sistema para la navegación aérea.

El SBAS GAGAN indio pretende facilitar una mejor precisión, fiabilidad, integridad y continuidad que el GPS básico. Las características del segmento espacial y del segmento de tierra son similares a otros SBAS implantados, tales como el WAAS sobre el espacio aéreo de los Estados Unidos, el EGNOS sobre la región de la CEAC europea y el MSAS sobre Japón.

1.1 Requisitos de frecuencia de IRNSS, GAGAN y GINS

Los requisitos de frecuencia del sistema IRNSS emanan de la evaluación de los requisitos de posición, navegación y temporización-precisión, estimaciones del retardo de propagación entre el

espacio y la Tierra, estimaciones de los trayectos múltiples y del ruido del receptor y los costes de los equipos y su configuración. Dos canales, centrados en 1 176,45 MHz (banda L5) y 1 575,42 MHz (banda L1), respectivamente, transmiten una señal de anchura de banda estrecha y ancha respectivamente.

En el IRNSS, en la banda L5, la modulación para la señal de anchura de banda estrecha es de 1 MHz en MDP2 y BOC(5,2) para la señal de mayor anchura de banda. En la banda L1, la modulación para la señal de banda estrecha es BOC(1,1) y para la señal de mayor anchura de banda BOC(5,2).

El SBAS GAGAN indio transmite señales de aumento del GPS en las bandas L1 (1 575,42 MHz) y L5 (1 176,45 MHz).

Para el sistema GINS los esquemas de modulación propuestos son MDP2(1) y BOC(5,2) en la banda L5 y BOC(1,1) y BOC(5,2) en la banda L1.

2 Características generales del sistema

El IRNSS es un sistema de navegación radioeléctrico espacial permanente todo tiempo para los servicios de posicionamiento, navegación y temporización para cualquier usuario equipado con receptores adecuados, en cualquier lugar de la zona de servicio.

Está previsto que el GINS sea un sistema mundial que funcione en las bandas L1 y L5 prestando en el futuro servicios de posición, navegación y temporización similares al IRNSS.

El sistema funciona bajo el principio de la triangulación pasiva. El equipo de usuario IRNSS mide las distancias de cuatro o más satélites y calcula su posición tras sincronizar su reloj con el del sistema IRNSS mediante las efemérides y los parámetros de corrección de reloj recibidos.

A continuación determina la posición tridimensional del usuario en una trama de referencia WGS-84 y la diferencia temporal del usuario a partir de la referencia temporal del IRNSS, resolviendo simultáneamente cuatro ecuaciones de distancia.

La velocidad tridimensional del usuario y su diferencia horaria se pueden estimar resolviendo cuatro ecuaciones de velocidad dadas por las mediciones de velocidad y de pseudodistancia de cuatro satélites. Las mediciones se denominan «pseudo» porque se realizan mediante un reloj de usuario impreciso (bajo coste) situado en el receptor y contiene términos fijos de error debido a las diferencias entre los relojes de los receptores y el tiempo IRNSS.

Las cargas útiles del SBAS GAGAN se situarán también en tres satélites geoestacionarios indios de comunicaciones. Las cargas útiles complementarias GAGAN transmiten correcciones al GPS básico para una mejor precisión, integridad, disponibilidad y continuidad.

2.1 Aplicaciones de los sistemas IRNSS, GAGAN y GINS

Los servicios del IRNSS pretenden prestar servicios de posicionamiento, navegación y temporización para el público en general y servicios de interés general.

3 Segmentos del sistema

Los sistemas IRNSS y GAGAN comprenden tres segmentos principales: el segmento espacial, el segmento de control y el segmento de usuario. Las funciones principales de cada segmento son las siguientes:

3.1 Segmento espacial

El segmento espacial del IRNSS comprende 7/11 satélites – tres satélites OSG y 4/8 no OSG – cuya función es transmitir desde el espacio señales de navegación codificadas en el tiempo con precisión. La constelación IRNSS es permanentemente visible desde todos los puntos situados sobre la zona de servicio.

El segmento espacial del SBAS GAGAN estará constituido por tres cargas útiles de navegación en órbita geostacionaria que transmiten señales de tipo GPS en las bandas de frecuencias L1 y L5.

El GINS comprenderá 24 satélites en tres planos orbitales con una inclinación de 42° sobre el plano del Ecuador. La constelación operativa de 24 satélites tendrá una órbita de 14 horas, 4 minutos y 42 segundos con un apogeo de unos 23 222 km.

3.2 Segmento en tierra

El segmento terreno del IRNSS controla toda la constelación IRNSS, supervisa la salud de los satélites y carga datos para su difusión consiguiente a los usuarios. El segmento terreno recibe las transmisiones de los satélites y elementos clave tales como datos, sincronización de reloj y efemérides de las órbitas que se calculan a partir de mediciones realizadas por una red de estaciones terrenas desplegadas en la zona de servicio.

El segmento en tierra proporciona las funciones siguientes:

- gestión de la constelación y control de los satélites;
- procesamiento y control de la navegación e integridad;
- mantenimiento de los satélites y verificación de la calidad;
- enlaces ascendentes de datos de la misión.

El segmento terreno GAGAN está constituido por estaciones de control de satélites denominadas Indian Land Uplink Stations (INLUS, Estaciones terrenas indias de enlace ascendente) y un conjunto de estaciones de referencia denominadas INRES. Los datos provenientes de las INRES se recopilan y analizan en un centro de control principal (MCC) y posteriormente se envían a los satélites las correcciones necesarias para las cargas útiles de navegación del GAGAN.

El segmento terreno del IRNSS controlará la constelación GINS, supervisará la salud de los satélites y transmitirá los datos para que se difundan posteriormente a los usuarios. Los elementos clave de estos datos, sincronización de reloj y efemérides de las órbitas, se calcularán a partir de mediciones de una red de estaciones muy separadas entre sí. El segmento terreno también proporcionará la gestión de la constelación y el control de los satélites, la navegación y el procesamiento de integridad y control, el mantenimiento de los satélites y las funciones TTC y los enlaces ascendentes de datos de la misión.

3.3 Segmento de usuario

El segmento de usuario del IRNSS, del GAGAN y del GINS están constituidos por todos los equipos de usuario y su equipamiento de apoyo. El segmento de usuario comprende normalmente una antena, un receptor IRNSS/GAGAN/GINS, un ordenador y un dispositivo de entradas y salidas. También se considera como parte del segmento de usuario un receptor GNSS integrado capaz de recibir datos de los sistemas IRNSS, GAGAN, GINS, GPS, Galileo y GLONASS y de otras constelaciones.

4 Estructura de las señales IRNSS, GAGAN y GINS

4.1 Estructura de la señal IRNSS

Las señales IRNSS están centradas en 1 176,45 MHz y 1 575,42 MHz. La señal estrecha es una señal MDP2 de 1 MHz que transmite códigos Gold.

La señal IRNSS más ancha se modula con modulaciones BOC(5,2). La modulación BOC es una medida para conformar el espectro de la señal transmitida. Las señales de tipo BOC normalmente se expresan en la forma BOC(f_{sub}, f_{chip}) donde las frecuencias se indican como múltiplos de la velocidad de chip de 1,023 Mchip/s.

La densidad espectral de potencia de la señal BOC viene dada por:

$$G_{BOC_{sen}(f_s, f_c)}(f) = f_c \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \cos\left(\frac{\pi f}{f_c}\right)}{\cos\left(\frac{\pi f}{2f_s}\right) \pi f} \right]^2$$

donde:

$$\begin{aligned} n f_s &= 5 \times 1,023 \text{ MHz es la frecuencia de la subportadora} \\ f_c &= 2,0 \times 1,023 \text{ MHz es la velocidad de chip.} \end{aligned}$$

4.1.1 Descripción de la señal IRNSS

CUADRO 10-1

Parámetros de la señal IRNSS L5

Parámetro	Valor del parámetro
Frecuencia de portadora (MHz)	1 176,45 ± 12
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	1,023 2,046
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	25
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	50
Método de modulación de la señal	MDP2 (1 MHz) BOC(5,2)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	1,8 máximo
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	-156,37
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	24

CUADRO 10-2

Parámetros de la señal IRNSS L1

Parámetro	Valor del parámetro
Frecuencia de portadora (MHz)	1 575,42 ± 12
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	1,023 2,046
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	25
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	50
Método de modulación de la señal	BOC(1,1) BOC(5,2)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	1,8 máximo
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	-156,37
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	24

Las señales de enlace ascendente RF combinadas en las bandas L5 y L1 se pueden representar de la forma siguiente:

$$s(t) = (\alpha \text{ boc}(t) - \alpha \text{ bpsk}(t)) \cos(2\pi \text{fsc} \cdot t) - (\beta \text{ pilot}(t) + \gamma \text{ boc}(t) \cdot \text{pilot}(t) \cdot \text{bpsk}(t)) \sin(2\pi \text{fsc} \cdot t)$$

donde:

α, β, γ : factores de amplificación para determinar la distribución de potencia.

4.2 Transmisiones GAGAN

CUADRO 10-3

Transmisiones GAGAN L1 en la banda 1 559 – 1 610 MHz

Parámetro	Valor del parámetro
Frecuencia de portadora (MHz)	1 575,42 ± 12 (C/A)
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	1,023 (C/A)
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	250 (C/A)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	500 (C/A)
Método de modulación de la señal	MDP2-R(1) (C/A)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	1,8 máximo
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	-157,37 (C/A)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	24

CUADRO 10-4

Transmisiones GAGAN L5 en la banda 1 164 – 1 215 MHz

Parámetro	Valor del parámetro
Frecuencia de portadora (MHz)	1 176,45 ± 12
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	10,23
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	250 (L5I)
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	500 (L5I)
Método de modulación de la señal	MDP2-R(10)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	2,4 máximo
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	-156,3 (L5I)
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	24

4.3 Estructura de la señal GINS

CUADRO 10-5

Parámetros de la señal GINS L5

Parámetro	Valor del parámetro
Frecuencia de portadora (MHz)	1 176,45 ± 12
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	1,023 y 2,046
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	25
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	50
Método de modulación de la señal	MDP2 (1 MHz) BOC(5,2)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	1,8 máximo
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	-156,37
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	24

CUADRO 10-6

Parámetros de la señal GINS L1

Parámetro	Valor del parámetro
Frecuencia de portadora (MHz)	1 575,42 ± 12
Velocidad de chip de código de ruido pseudoaleatorio (Mchip/s)	1,023 y 2,046
Velocidades de bit de datos de navegación (bit/s)	25
Velocidades de símbolo de datos de navegación (símbolo/s)	50
Método de modulación de la señal	BOC(1,1) BOC(5,2)
Polarización	Circular dextrógira (RHCP)
Elipticidad (dB)	1,8 máximo
Mínimo nivel de potencia recibida a la entrada de la antena (dBW)	-156,37
Anchura de banda a 3 dB del filtro transmisor de RF (MHz)	24