

Doc 9849
AN/457



Manual sobre el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS)

Aprobado por el Secretario General
y publicado bajo su responsabilidad

Segunda edición — 2013

Organización de Aviación Civil Internacional

Doc 9849
AN/457



Manual sobre el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS)

**Aprobado por el Secretario General
y publicado bajo su responsabilidad**

Segunda edición — 2013

Organización de Aviación Civil Internacional

Publicado por separado en español, árabe, chino, francés, inglés y ruso,
por la ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL
999 University Street, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7

La información sobre pedidos y una lista completa de los agentes
de ventas y librerías pueden obtenerse en el sitio web de la OACI:
www.icao.int

Primera edición, 2005
Segunda edición, 2013

Doc 9849, *Manual sobre el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS)*
Número de pedido: 9849
ISBN 978-92-9249-338-7

© OACI 2013

Reservados todos los derechos. No está permitida la reproducción de ninguna
parte de esta publicación, ni su tratamiento informático, ni su transmisión, de
ninguna forma ni por ningún medio, sin la autorización previa y por escrito de
la Organización de Aviación Civil Internacional.

RESUMEN

El crecimiento de la aviación y la urgente necesidad de reducir el consumo de combustible, emisiones y demoras exigen mayor capacidad de espacio aéreo y aeropuertos, así como medidas para proporcionar una trayectoria preferida (ruta y altitud) a cada usuario del espacio aéreo, lo que exige mejoras en los servicios de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS). Los explotadores buscan también mayor eficiencia mediante aproximaciones que ofrecen los mínimos más bajos y los beneficios significativos de seguridad operacional de las aproximaciones directas y la guía vertical.

En el proyecto de cuarta edición del *Plan mundial de navegación aérea* (GANP) (Doc 9750) figura un resumen de alto nivel de la metodología de la OACI relativa a las mejoras por bloques del sistema de aviación (ASBU). Éstas definen objetivos operacionales relacionados con cuatro sectores específicos y conexos de eficacia de la aviación: aeropuertos más ecológicos; sistemas y datos interoperables a escala mundial; capacidad óptima; y vuelos flexibles y trayectorias de vuelo eficientes. En el proyecto de GANP y las ASBU se reconoce el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) como un medio técnico que permite mejores servicios para satisfacer esos objetivos. En el proyecto de GANP figuran hojas de ruta en que se describe el calendario de la disponibilidad de elementos GNSS, la implantación de servicios conexos y la racionalización de la infraestructura convencional.

GNSS permite aplicaciones de posición, navegación y temporización (PNT). Ya constituye el fundamento de la navegación basada en la performance (PBN), la vigilancia dependiente automática – radiodifusión (ADS-B) y la vigilancia dependiente automática – contrato (ADS-C), como se describe más adelante. GNSS proporciona también una referencia de tiempo común utilizada para sincronizar sistemas, aviónica, redes y operaciones de comunicación y permite una amplia gama de aplicaciones ajenas a la aviación.

En la *Carta sobre los derechos y obligaciones de los Estados en relación a los servicios GNSS*, de la OACI, se describen los principios que se aplicarán para implantar y explotar GNSS, incluido lo siguiente: primacía de la seguridad operacional; acceso no discriminatorio a los servicios GNSS; soberanía de los Estados; obligación de los Estados proveedores de asegurar la fiabilidad de los servicios; y cooperación y asistencia mutua en la planificación mundial.

En el presente manual figura información sobre tecnología y aplicaciones operacionales de GNSS para asistir a las autoridades de reglamentación de los Estados y los proveedores de servicios de navegación aérea (ANS) en los análisis de seguridad operacional y rentabilidad que se necesitan para tomar decisiones y planificar la implantación.

Implantación de GNSS

La introducción de servicios basados en GNSS fue posible mediante la implantación operacional de dos constelaciones principales de satélites: el sistema mundial de determinación de la posición (GPS) y el sistema mundial de navegación por satélite (GLONASS), proporcionados, respectivamente, por los Estados Unidos de América y la Federación de Rusia. En las normas y métodos recomendados (SARPS) del Anexo 10 – *Telecomunicaciones aeronáuticas*, se definen las señales GPS y GLONASS.

En 1994, los Estados Unidos ofrecieron GPS para las necesidades de la aviación civil internacional y reafirmaron la oferta en 2007; el Consejo de la OACI aceptó ambas ofertas. En 1996, la Federación de Rusia ofreció GLONASS para las necesidades de la aviación civil internacional; el Consejo de la OACI aceptó esta oferta. Ambos Estados están mejorando sus constelaciones y se han comprometido ante la OACI para tomar todas las medidas necesarias a fin de mantener la fiabilidad del servicio. Europa y China están desarrollando sistemas (Galileo y BeiDou, respectivamente) que podrán funcionar con GPS y GLONASS mejorados. La disponibilidad de constelaciones múltiples resolverá algunos problemas técnicos e institucionales.

GPS se declaró plenamente operacional en 1993; el mismo año, varios Estados aprobaron el uso de su guía para operaciones de vuelo por instrumentos (IFR) en ruta, en área terminal y aproximaciones que no son de precisión (NPA). En 2001, la OACI adoptó SARPS relativos a las operaciones GNSS basadas en la aumentación de las señales de las constelaciones principales de satélites para satisfacer los requisitos de seguridad operacional y fiabilidad.

Existen tres sistemas de aumentación que se definen en el Anexo 10: el sistema de aumentación basado en la aeronave (ABAS), el sistema de aumentación basado en satélites (SBAS) y el sistema de aumentación basado en tierra (GBAS).

ABAS es una implantación de aviónica que procesa señales GPS o GLONASS a fin de lograr la precisión e integridad necesarias para operaciones en ruta, en área terminal y aproximaciones que no son de precisión (NPA).

SBAS utiliza una red de estaciones de referencia terrestres y proporciona señales procedentes de satélites en órbita geostacionaria (GEO) para operaciones que van desde en ruta hasta aproximaciones con guía vertical en una amplia área geográfica. Las operaciones de aproximación SBAS no exigen estaciones de aumentación en los aeropuertos que cuentan con dicho sistema. El sistema de aumentación de área amplia (WAAS), un SBAS desarrollado por los Estados Unidos, funciona desde 2003 y proporciona también servicio en Canadá y México. En 2007 pasó a ser operacional el sistema de aumentación basado en satélites (MSAS) de transporte multifuncional (MTSAT) de Japón. A principios de 2011 pasó a ser operacional el Servicio europeo de complemento geostacionario de navegación (EGNOS). Se prevé que en 2013 pase a ser operacional el GPS de la India y el sistema de navegación aumentada GEO (GAGAN). El sistema de corrección diferencial y vigilancia (SDCM) de Rusia está en desarrollo y se prevé que sea operacional en 2015. Estos sistemas pueden ofrecer guía sin interrupciones cuando sus áreas de servicio se superponen. En 2012, se implantaron casi 3 000 procedimientos de aproximación con guía vertical SBAS, principalmente en Norteamérica, algunos de los cuales permiten mínimos de Categoría I (CAT I), actualmente proporcionados por el sistema de aterrizaje por instrumentos (ILS). Más de 1 100 de ellos prestan servicio en aeropuertos que carecen de ILS. Por motivos técnicos descritos en el presente manual, la actual arquitectura SBAS no es fiable para aproximaciones con guía vertical en áreas ecuatoriales.

GBAS utiliza estaciones de vigilancia en los aeropuertos para procesar señales procedentes de constelaciones principales y transmite correcciones y datos sobre trayectorias de aproximación para operaciones de aproximación de precisión. En 2012, unas 40 estaciones GBAS alrededor del globo permitían llevar a cabo pruebas y operaciones CAT I con aprobaciones especiales. GBAS permite operaciones CAT II/III y algunas operaciones de movimiento en la superficie, así como navegación en área terminal.

Navegación basada en la performance (PBN)

Un elemento clave para una mayor capacidad del espacio aéreo es la transición a un entorno de navegación de área total en que las aeronaves mantienen su trayectoria de vuelo dentro de corredores definidos. PBN basada en GNSS proporciona guía sin discontinuidades, armonizada y económica desde la salida hasta la aproximación final con guía vertical y produce beneficios de seguridad operacional, eficiencia y capacidad. En el *Manual sobre la navegación basada en la performance (PBN)* (Doc 9613), que en adelante se llamará manual PBN, se describen los procedimientos de implantación y, para cada aplicación de navegación, las consideraciones del proveedor de servicios de navegación aérea (ANS) y una especificación de navegación en que se describen la performance, la funcionalidad y las operaciones conexas. Las especificaciones de navegación incluyen procedimientos de aproximación y requisitos para aeronaves, conocimientos e instrucción de la tripulación de vuelo. El concepto PBN representa un cambio al pasar de navegación basada en tecnología a otra basada en la performance; para todas las aplicaciones, salvo las menos exigentes, se necesita GNSS. Éste permite a los Estados elaborar un plan de implantación PBN de conformidad con la Resolución A37-11 de la OACI — Metas mundiales de navegación basada en la performance.

Vigilancia dependiente automática – radiodifusión (ADS-B)

Una performance de vigilancia mejorada es indispensable para normas de separación reducida, mayor capacidad del espacio aéreo y posibilidad de ofrecer trayectorias preferidas a los usuarios. ADS-B se basa en que las aeronaves transmiten la posición GNSS, velocidad y otros datos de a bordo. Las estaciones terrestres ADS-B, que son mucho menos onerosas que los radares, reciben y procesan los datos ADS-B de las aeronaves que se utilizan en las presentaciones de la situación para los controladores. Otras aeronaves debidamente equipadas pueden también procesar y presentar estos datos para mejorar la conciencia de la situación de la tripulación de vuelo. Varios Estados han implantado ADS-B en áreas que carecen de cobertura radar, permitiendo reducir la separación desde un máximo de 80 hasta cinco millas marinas, aumentar la capacidad del espacio aéreo y reducir el consumo de combustible y las emisiones.

Vigilancia dependiente automática – contrato (ADS-C)

En las áreas oceánicas y remotas donde no es posible instalar radar o estaciones terrestres ADS-B, los informes de posición ADS-C se retransmiten al control de tránsito aéreo (ATC) mediante satélites de comunicaciones. En esta implantación, el ATC especifica el momento en que deben proporcionarse informes de posición en un contrato. Un número significativo de aeronaves ya utiliza ADS-C en espacio aéreo oceánico y continental sin radar designado; esta tecnología ha permitido reducir las normas de separación.

Gestión de riesgos para la seguridad operacional

Se elaboraron SARPS y normas de aviónica GNSS para lograr metas reconocidas de seguridad operacional de modo que, en la mayoría de los casos, no se necesitan otros análisis sobre riesgos técnicos. Las normas de diseño de procedimientos en los *Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Operación de aeronaves* (PANS-OPS) (Doc 8168) se basan en la seguridad operacional de manera similar. Numerosos Estados han introducido servicios basados en GNSS desde que GPS se declaró plenamente operacional en 1993. Los reglamentos y procedimientos operacionales elaborados por dichos Estados reflejan una evaluación de la seguridad operacional en que pueden basarse otros Estados al elaborar reglamentos, programas de instrucción, procedimientos y planes de implantación para su entorno operacional.

Las señales GNSS son vulnerables en caso de interferencia intencional o no voluntaria y de ciertos fenómenos naturales. Los Estados pueden ocuparse de ello controlando el uso del espectro y estableciendo procedimientos y manteniendo cierta infraestructura convencional para atenuar el efecto en las operaciones en caso de pérdida temporal del servicio. En el presente manual se analizan las cuestiones conexas y se describen estrategias para racionalizar las redes de ayudas convencionales.

Análisis de rentabilidad

En el análisis de rentabilidad para apoyar una decisión sobre implantación se consideran los costos y beneficios de la implantación operacional de un servicio basado en GNSS. Varios Estados han realizado tales análisis para implantar operaciones ABAS, SBAS, GBAS, ADS-B y ADS-C. En el presente manual se describen los factores que normalmente se consideran. La implantación de operaciones en ruta, terminales y NPA que dependen de constelaciones principales produce ventajas significativas como tiempo de vuelo reducido y mejor acceso a los aeropuertos. Los costos son bajos para los proveedores ANS porque éstos no tienen que instalar ayudas terrestres ni verificar en vuelo los procedimientos de aproximación periódicamente utilizando aeronaves con equipo complejo.

Los proveedores ANS deben incluir a los explotadores de aeronaves en la elaboración de análisis de rentabilidad para asegurarse de que se validen todos los elementos de beneficios y costos y se coordinen las inversiones. Deben considerarse todos los servicios basados en GNSS para asegurarse de que los explotadores adquieran aviónica que

satisfaga sus expectativas. La experiencia ha indicado que los explotadores invertirán en aviónica si existen beneficios suplementarios significativos.

Implantación de servicios basados en GNSS

GPS ha producido beneficios de seguridad operacional y eficiencia para la aviación civil desde 1993, dando lugar a una amplia aceptación de los servicios basados en GNSS por parte de explotadores de aeronaves, autoridades de reglamentación de los Estados y proveedores ANS. Numerosos Estados han iniciado la organización del espacio aéreo para mayor eficiencia basada en PBN, ADS-B y ADS-C y han diseñado aproximaciones que refuerzan la seguridad operacional y mejoran el acceso a los aeropuertos. La disponibilidad de constelaciones múltiples que transmitan en frecuencias múltiples fortalecerá GNSS y permitirá ampliar los servicios con mayores beneficios después de 2020 cuando se dispondrá de sistemas y aviónica. Entre tanto, los proveedores ANS pueden colaborar con explotadores de aeronaves para ampliar los servicios basados en GNSS y aumentar los beneficios al planificar los servicios de la próxima generación.

Se alienta a los Estados a que, al planificar la implantación de operaciones basadas en GNSS, consulten el GANP y las ASBU pertinentes para cumplir las disposiciones de la OACI y aprovecharse de la experiencia y la información que poseen los grupos regionales de planificación y ejecución (PIRG) de la OACI.

PREÁMBULO

En el proyecto de cuarta edición del *Plan mundial de navegación aérea* (GANP) (Doc 9750) figura un resumen de alto nivel de la metodología de la OACI relativa a las mejoras por bloques del sistema de aviación (ASBU). Éstas definen objetivos operacionales relacionados con sectores específicos y conexos de eficacia de la aviación: aeropuertos más ecológicos, sistemas y datos interoperables a escala mundial, capacidad óptima y vuelos flexibles y trayectorias de vuelo eficientes. En el sistema ASBU se reconoce el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) como elemento clave del sistema de navegación aérea que mejorará los servicios y permitirá alcanzar dichos objetivos.

Las normas y métodos recomendados (SARPS) relativos a GNSS fueron introducidos en 2001 como parte de la Enmienda 76 del Anexo 10 al *Convenio sobre Aviación Civil Internacional — Telecomunicaciones aeronáuticas*, Volumen I (*Radioayudas para la navegación*). La información y los textos de orientación que figuran en el Adjunto D del Anexo 10, Volumen I, proporcionan amplia orientación sobre los aspectos técnicos y la aplicación de los SARPS relativos a GNSS. El Grupo de expertos sobre sistemas de navegación (NSP) sigue elaborando nuevos textos que se publicarán en las enmiendas del Anexo 10.

El objetivo principal del presente manual consiste en proporcionar información sobre la implantación operacional de GNSS para asistir a los Estados en la introducción de servicios basados en GNSS. Así, el manual está destinado a los proveedores de servicios de navegación aérea encargados de instalar y operar elementos GNSS, así como a los órganos de reglamentación responsables de aprobar el uso de GNSS para operaciones de vuelo. Además, proporciona información sobre GNSS para los explotadores y fabricantes de aeronaves.

El presente manual debe utilizarse conjuntamente con las disposiciones pertinentes del Anexo 10, Volumen I, y con el *Manual de navegación basada en la performance* (PBN) (Doc 9613).

Mucho se agradecería recibir observaciones sobre el presente manual de todas las partes que participan en la elaboración e implantación de servicios basados en GNSS. Dichas observaciones deben dirigirse a:

Secretario General
Organización de Aviación Civil Internacional
999 University Street
Montréal, Quebec H3C 5H7
Canada

ÍNDICE

	<i>Página</i>
Glosario	(xiii)
Capítulo 1. Introducción	1-1
1.1 Generalidades	1-1
1.2 Elementos de GNSS	1-1
1.3 Implantación de servicios basados en GNSS.....	1-2
1.4 Aplicaciones operacionales de GNSS.....	1-2
1.5 Limitaciones de GNSS y otras cuestiones.....	1-5
Capítulo 2. Requisitos de performance	2-1
2.1 Generalidades	2-1
2.2 Requisitos.....	2-1
Capítulo 3. Constelaciones principales de satélites existentes	3-1
3.1 Generalidades	3-1
3.2 Sistema mundial de determinación de la posición (GPS).....	3-1
3.3 Sistema mundial de navegación por satélite (GLONASS).....	3-2
Capítulo 4. Sistemas de aumentación	4-1
4.1 Generalidades	4-1
4.2 Sistema de aumentación basado en la aeronave (ABAS).....	4-1
4.3 Sistema de aumentación basado en satélites (SBAS)	4-3
4.4 Sistema de aumentación basado en tierra (GBAS).....	4-6
Capítulo 5. Vulnerabilidad de GNSS	5-1
5.1 Generalidades	5-1
5.2 Interferencia involuntaria	5-1
5.3 Interferencia intencional y simulación.....	5-2
5.4 Reglamentación del espectro	5-3
5.5 Efectos de la ionosfera y la actividad solar.....	5-4
Capítulo 6. Evolución de GNSS	6-1
6.1 Generalidades	6-1
6.2 GNSS con constelaciones y frecuencias múltiples.....	6-1
6.3 Elaboración de normas.....	6-2
6.4 Aspectos institucionales	6-2
6.5 Evolución de la constelación principal.....	6-3
6.6 Nuevas constelaciones principales previstas	6-4

	<i>Página</i>
6.7 Evolución de ABAS	6-5
6.8 Evolución de SBAS	6-5
6.9 Evolución de GBAS	6-6
Capítulo 7. Implantación de servicios basados en GNSS.....	7-1
7.1 Generalidades	7-1
7.2 Planificación de la implantación internacional	7-1
7.3 Elaboración de un concepto de operaciones (CONOPS).....	7-2
7.4 Análisis de rentabilidad.....	7-4
7.5 Evaluación de la seguridad operacional de los sistemas	7-8
7.6 Certificación y aprobaciones operacionales	7-9
7.7 Pruebas de sistemas y validación de procedimientos	7-11
7.8 Vigilancia y registro de información GNSS.....	7-11
7.9 Planificación del espacio aéreo y elaboración de procedimientos.....	7-13
7.10 Servicios de información aeronáutica.....	7-14
7.11 Notificación del estado del servicio GNSS	7-16
7.12 Notificación de anomalías	7-18
7.13 Vulnerabilidad de GNSS: atenuación del efecto en las operaciones.....	7-20
7.14 Planificación de la transición	7-21
7.15 Cuestiones programáticas y de seguridad de la aviación.....	7-23
7.16 Realización del potencial de GNSS.....	7-23
Apéndice A. Referencias	Ap A-1
Apéndice B. Funciones de los proveedores ANS y las autoridades de reglamentación.....	Ap B-1
Apéndice C. Espectro GNSS	Ap C-1
Apéndice D. Hoja de ruta de navegación	Ap D-1
Apéndice E. Hoja de ruta PBN.....	Ap E-1

GLOSARIO

AAIM	Comprobación autónoma de la integridad en la aeronave
ABAS	Sistema de aumentación basado en la aeronave
ACARS	Sistema de direccionamiento e informe para comunicaciones de aeronaves
ACAS	Sistema anticolidión de a bordo
ADF	Radiogoniómetro automático
ADS-B	Vigilancia dependiente automática – radiodifusión
ADS-C	Vigilancia dependiente automática – contrato
AESA	Agencia Europea de Seguridad Aérea
AIC	Circular de información aeronáutica
AIP	Publicación de información aeronáutica
AIRAC	Reglamentación y control de información aeronáutica
AIS	Servicio de información aeronáutica
AM(R)S	Servicio móvil aeronáutico en ruta
ANS	Servicios de navegación aérea
APCH	Aproximación
APNT	Sistema alternativo de posición, navegación y temporización
APV	Procedimiento de aproximación con guía vertical
ARAIM	RAIM avanzada
ARNS	Servicio de radionavegación aeronáutica
ASBU	Mejoras por bloques del sistema de aviación
ATC	Control de tránsito aéreo
ATM	Gestión del tránsito aéreo
ATS	Servicios de tránsito aéreo
Baro VNAV	Navegación vertical barométrica
BDT	Tiempo BeiDou
BeiDou	Sistema de satélites de navegación BeiDou
C/A	Adquisición aproximativa
CAT I	Categoría I
CAT II	Categoría II
CAT III	Categoría III
CDMA	Acceso múltiple por división de código
CE	Comisión Europea
CFIT	Impacto contra el suelo sin pérdida de control
CGS2000	Sistema geodésico de China 2000
C/N ₀	Relación de portadora a densidad de ruido
CNS	Comunicaciones, navegación y vigilancia
Código-P	Código de precisión
CONOPS	Concepto de operaciones
COSPAS-SARSAT	Sistema espacial para la búsqueda de naves en peligro – Localización por satélite para búsqueda y salvamento
CPDLC	Comunicaciones por enlace de datos controlador-piloto
CSA	Canal de exactitud normal
DA	Altitud de decisión
DH	Altura de decisión
DME	Equipo radiotelemétrico
EDCN	Red de recopilación de datos EGNOS

EGNOS	Servicio europeo de complemento geoestacionario de navegación
ELT	Transmisor de localización de emergencia
ETSO	Orden de norma técnica europea
EUROCAE	Organización europea para el equipamiento de la aviación civil
FAA	Administración Federal de Aviación (de los Estados Unidos)
FAS	Tramo de aproximación final
FD	Detección de fallas
FDE	Detección de fallas y exclusión
FDMA	Acceso múltiple por división de frecuencias
FMS	Sistema de gestión de vuelo
ft	Pie
GAGAN	Navegación aumentada con GPS y GEO (Sistema de)
GANP	Plan mundial de navegación aérea
GAST	Tipo de servicio de aproximación GBAS
GBAS	Sistema de aumentación basado en tierra
GBAS/E	Polarización elíptica VDB de GBAS
GBAS/H	Polarización horizontal VDB de GBAS
GEO	Órbita geoestacionaria
GIVE	Error vertical de cuadrícula ionosférica
GLONASS	Sistema mundial de navegación por satélite
GLS	Sistema de aterrizaje GBAS
GNSS	Sistema mundial de navegación por satélite
GPS	Sistema mundial de determinación de la posición
GPWS	Sistema de advertencia de la proximidad del terreno
GRAS	Sistema regional de aumentación basado en tierra
HAL	Límite de alerta horizontal
HEO	Órbita inclinada de gran excentricidad
HMI	Información errónea peligrosa
HPL	Nivel de protección horizontal
Hz	Hertzio
ICD	Documento de control de interfaz
IFR	Reglas de vuelo por instrumentos
IGSO	Órbita geosíncrona inclinada
ILS	Sistema de aterrizaje por instrumentos
IRS	Sistema de referencia inercial
ITRF	Marco de referencia terrestre internacional
LAL	Límite de alerta lateral
LEO	Órbita terrena baja
LNAV/VNAV	Navegación lateral/navegación vertical
LP	Actuación del localizador
LPL	Nivel de protección lateral
LPV	Actuación del localizador con guía vertical
m	Metro
MASPS	Norma de performance mínima del sistema de aviación
MEA	Altitud mínima en ruta
MEO	Órbita terrena media
MLS	Sistema de aterrizaje por microondas
MMR	Receptor multimodal
MOPS	Normas de performance operacional mínima
MSAS	Sistema de aumentación basado en satélites con satélite de transporte multifuncional MTSAT
MTSAT	Satélite de transporte multifuncional
NAGU	Notificación a los usuarios de GLONASS
NANU	Notificación a los usuarios de NAVSTAR

NDB	Radiofaro no direccional
NOTAM	Aviso a los aviadores
NPA	Aproximación que no es de precisión
NSP	Grupo de expertos sobre sistemas de navegación
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PAN	Red de análisis de performance
PANS-ATM	Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Gestión del tránsito aéreo (Doc 4444)
PANS-OPS	Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Operación de aeronaves (Doc 8168)
PBN	Navegación basada en la performance
PIRG	Grupo regional de planificación y ejecución
PNT	Posición, navegación y temporización
PPS	Servicio de determinación precisa de la posición
PRN	Ruido pseudoaleatorio
PZ-90	Sistema de coordenadas de parámetro de la Tierra 1990
RAIM	Vigilancia autónoma de la integridad en el receptor
RF	Radiofrecuencia
RNAV	Navegación de área
RNP	Performance de navegación requerida
RNSS	Servicio de radionavegación por satélite
RSOO	Organización regional de vigilancia de la seguridad operacional
RTCA	RTCA, Inc. (Comisión radiotécnica aeronáutica de Estados Unidos)
SA	Disponibilidad selectiva
SAR	Búsqueda y salvamento
SARPS	Normas y métodos recomendados
SBAS	Sistema de aumentación basado en satélites
SDCM	Sistema de corrección diferencial y vigilancia
SID	Salida normalizada por instrumentos
SIS	Señal en el espacio
SPS	Servicio de determinación de la posición normalizado
STAR	Llegada normalizada por instrumentos
TACAN	Sistema de navegación aérea táctica en UHF
TAWS	Sistema de advertencia y alarma de impacto
TSO	Disposición técnica normalizada (FAA de EUA)
UE	Unión Europea
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UDRE	Error de distancia diferencial del usuario
UTC	Tiempo universal coordinado
VAL	Límite de alerta vertical
VDB	Radiodifusión de datos en VHF
VFR	Reglas de vuelo visual
VHF	Muy alta frecuencia
VMC	Condiciones meteorológicas de vuelo visual
VNAV	Navegación vertical
VOR	Radiofaro omnidireccional en VHF
VPL	Nivel de protección vertical
WAAS	Sistema de aumentación de área amplia
WGS-84	Sistema Geodésico Mundial — 1984

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 El sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) se define en el Anexo 10 como un sistema mundial de determinación de la posición y la hora, que incluye una o más constelaciones de satélites, receptores de aeronave y vigilancia de la integridad del sistema, con el aumento necesario en apoyo de la performance de navegación requerida en la operación prevista.

1.1.2 En el proyecto de cuarta edición del *Plan mundial de navegación aérea* (GANP) (Doc 9750) se reconoce GNSS como elemento clave del sistema de navegación aérea para mejorar los servicios y alcanzar los objetivos ambientales, de eficiencia y seguridad operacional.

1.1.3 En la “Carta sobre los derechos y obligaciones de los Estados en relación a los servicios GNSS”, de la OACI, se describen los principios que se aplicarán para implantar y explotar GNSS, incluido lo siguiente: primacía de la seguridad operacional, acceso no discriminatorio a los servicios GNSS, soberanía de los Estados, obligación de los Estados proveedores de asegurar la fiabilidad de los servicios y cooperación, y asistencia mutua en la planificación mundial.

1.1.4 Incumbe finalmente a los Estados asegurarse de que los nuevos servicios de navegación aérea satisfagan las normas establecidas de seguridad operacional. En algunos casos, los Estados aúnan los recursos para establecer una organización regional de vigilancia de la seguridad operacional (RSOO) para aplicar un enfoque común a la reglamentación, vigilancia y aplicación de la seguridad operacional. En el presente manual, las referencias a los Estados se aplican también a las RSOO.

1.1.5 El contenido del presente manual se ajusta a varias Resoluciones de la Asamblea, así como al *Manual de navegación basada en la performance* (PBN) (Doc 9613), *Manual de vigilancia de la seguridad operacional* (Doc 9734) y *Manual de gestión de la seguridad operacional* (SMM) (Doc 9859). Los lectores deberían familiarizarse con estos y otros documentos pertinentes de la OACI.

1.1.6 En los Apéndices D y E se reproducen las hojas de ruta sobre navegación y PBN del GANP. En dichas hojas de ruta, que se actualizarán con cada revisión del GANP, figuran los calendarios para la disponibilidad de elementos de GNSS, la implantación de servicios conexos y la racionalización de la infraestructura convencional. Dichas hojas de ruta proporcionan a los Estados elementos de planificación que se ajustan a las ASBU.

1.1.7 En el presente manual figura información sobre tecnología y operaciones GNSS que asistirán a los Estados para supervisar la seguridad operacional de las operaciones GNSS y llevar a cabo los análisis de rentabilidad que se necesitan para tomar decisiones y planificar la implantación.

1.2 ELEMENTOS DE GNSS

1.2.1 La introducción de los servicios basados en GNSS llegó a ser posible mediante la implantación operacional de dos constelaciones principales de satélites, GPS y GLONASS, proporcionadas, respectivamente, por los

Estados Unidos y la Federación de Rusia. Ambos Estados están perfeccionando sus constelaciones y se han comprometido ante la OACI a mantener los niveles de servicio. Europa y China están desarrollando sistemas (Galileo y BeiDou) que serán interoperables con GPS y GLONASS perfeccionados. Todos los sistemas ofrecidos para apoyar a la aviación civil internacional se incluirán en el Anexo 10. En el Apéndice C figuran las frecuencias utilizadas por las constelaciones principales existentes y futuras.

1.2.2 Las constelaciones principales de satélites existentes no fueron diseñadas para satisfacer los requisitos de eficacia de la aviación civil. Sus señales exigen aumentación en forma de ABAS, GBAS o SBAS, según lo dispuesto en el Anexo 10. Existen también SARPS relativos al sistema regional de aumentación basado en tierra (GRAS), pero ningún Estado prevé su implantación.

1.2.3 En el Anexo 10 se prescribe un aviso previo de seis años para todo cambio en los SARPS en que se exija reemplazar o modificar el equipo GNSS. Se exige el mismo plazo al proveedor de una constelación principal o de un sistema de aumentación que prevea poner fin al servicio.

1.3 IMPLANTACIÓN DE SERVICIOS BASADOS EN GNSS

1.3.1 La implantación de un servicio basado en GNSS exige que un Estado lleve a cabo, apruebe o acepte evaluaciones de seguridad operacional que apoyen la implantación de instrucción, procedimientos relativos al espacio aéreo, instrumentos y ATC y la instalación de sistemas conexos, en cumplimiento de los reglamentos aplicables.

1.3.2 Normalmente, los proveedores de ANS y los explotadores de aeronaves realizarán también análisis de rentabilidad para implantar un servicio basado en GNSS. Diversos Estados han realizado tales análisis para implantar operaciones ADS-B, ADS-C, GNSS básico, GBAS y SBAS.

1.3.3 La transición a servicios basados en GNSS representa un cambio significativo para la aviación, por lo que exige nuevos enfoques para la reglamentación, suministro de servicios, procedimientos relativos al espacio aéreo, instrumentos y ATC, y operación de aeronaves.

1.3.4 Para que una transición obtenga éxito, se exige un programa completo de orientación e instrucción destinado a todas las partes participantes, incluidos los responsables de las organizaciones de aviación. El personal de las organizaciones de reglamentación y proveedores de ANS necesitan instrucción para apreciar mejor la manera en que pueden contribuir a la implantación operacional de servicios basados en GNSS. La instrucción debería incluir: teoría básica de las operaciones GNSS, capacidades y limitaciones de GNSS, eficacia e integración de la aviónica, reglamentos aplicables y conceptos de explotación. En el presente manual se examinan todos estos requisitos.

1.4 APLICACIONES OPERACIONALES DE GNSS

1.4.1 Generalidades

1.4.1.1 GNSS permite la PBN y proporciona guía de navegación para todas las fases de vuelo, desde en ruta hasta la aproximación de precisión. Al proporcionar información sobre posición, GNSS permite aplicaciones ADS-B, ADS-C, presentaciones de cartas en movimiento, sistemas de advertencia y alarma de impacto (TAWS) y sistemas de visión sintética. Los transmisores de localización de emergencia (ELT) también utilizan datos de posición de GNSS. Éste permite también una amplia gama de aplicaciones de temporización de precisión. Muchos Estados ya utilizan GNSS para proporcionar a los explotadores de aeronaves un servicio mejorado en lugares en que no existen sistemas convencionales.

1.4.1.2 Las primeras aprobaciones de uso de GNSS tuvieron lugar en 1993, para operaciones (nacionales y oceánicas) IFR en ruta, en área terminal y NPA. Se basaban en el uso de señales GPS y aviónica GPS certificada e incluían restricciones operacionales, pero producían beneficios significativos para los explotadores de aeronaves. A partir de 1993, GPS ha obtenido amplia aceptación por parte de Estados y explotadores de aeronaves.

1.4.1.3 GNSS proporciona guía precisa en áreas remotas, oceánicas y montañosas donde sería muy costoso o imposible proporcionar guía fiable y precisa mediante ayudas para la navegación convencionales. También puede proporcionar servicio donde no sea posible instalar ayudas convencionales (p. ej., aproximaciones a pistas en islas).

1.4.1.4 La disponibilidad de guía precisa basada en GNSS para la llegada y la salida permite procedimientos eficaces de atenuación del ruido, así como mayor flexibilidad en rutas donde el terreno constituya un factor de limitación, permitiendo perfiles de descenso eficientes y la posibilidad de pendientes ascensionales más bajas y cargas de pago superiores.

1.4.1.5 La disponibilidad de servicios basados en GNSS permitirá retirar del servicio gradualmente algunas ayudas convencionales y a los proveedores ANS y explotadores de aeronaves lograr economías a largo plazo. Aun en las primeras etapas de implantación de GNSS, los Estados pueden evitar el costo de reemplazo de ciertas ayudas.

1.4.2 Navegación basada en la performance (PBN)

1.4.2.1 El logro del objetivo de mayor capacidad del espacio aéreo exige la transición a un entorno de navegación del área total en que las aeronaves deben mantener trayectorias de vuelo dentro de corredores definidos mientras estén en ruta, en área terminal y en aproximación. El concepto PBN se explica en el *Manual de navegación basada en la performance (PBN)* (Doc 9613) donde se definen los requisitos de performance de navegación aérea de las aeronaves mediante especificaciones en que se prescribe la precisión, integridad, disponibilidad, continuidad y funcionalidad necesarias para apoyar determinado concepto de espacio aéreo. El concepto PBN significa pasar de la navegación basada en tecnología a la basada en performance, pero GNSS constituye el elemento clave para todas las aplicaciones salvo las menos exigentes.

1.4.2.2 Según las definiciones del Anexo 10, ABAS y SBAS permiten aplicar la señal en el espacio de GNSS en todas las especificaciones PBN, desde en ruta oceánica hasta aproximación con guía vertical. En cada especificación PBN se indican las normas relativas a la aviónica ABAS y SBAS. ABAS corresponde a la especificación de navegación de aproximación RNP hasta mínimos LNAV y, al combinarse con guía de navegación vertical barométrica (Baro VNAV), permite aproximaciones con guía vertical hasta mínimos LNAV/VNAV. SBAS permite la aproximación RNP con guía vertical hasta mínimos LPV y guía semejante a un localizador hasta mínimos LP, cuando la guía vertical no es posible debido a obstáculos o al terreno. La aproximación (APCH) RNP exige GNSS.

1.4.2.3 Cuando los Estados carezcan de servicio SBAS y pocas aeronaves estén equipadas con Baro VNAV, GNSS puede proporcionar guía vertical para aproximaciones directas a la mayoría de las pistas en que se aplican actualmente procedimientos de circuito, en que el número de accidentes es más elevado. En el futuro, el servicio de determinación de la posición GBAS definido en el Anexo 10 podría permitir ciertas aplicaciones PBN en área terminal, pero GBAS se ha diseñado principalmente para operaciones CAT I/II/III y es poco probable que se utilice para PBN en la misma medida que ABAS y SBAS. La aproximación GBAS no se considera como operación PBN.

1.4.2.4 GNSS permite cumplir la Resolución A37-11 de la Asamblea de la OACI, en que se resuelve que los Estados "... completen un plan de implantación de la PBN con carácter urgente a fin de lograr lo siguiente:

- 1) implantación de operaciones RNAV y RNP (donde se requiera) para áreas en ruta y terminales de acuerdo con los plazos y los hitos intermedios establecidos;
- 2) implantación para 2016 de procedimientos de aproximación con guía vertical (APV) (Baro VNAV o GNSS aumentado), incluidos los mínimos para LNAV únicamente, para todos los extremos de pistas de vuelo por instrumentos, ya sea como aproximación principal o como apoyo para aproximaciones de precisión, con los hitos intermedios siguientes: 30% para 2010 y 70% para 2014; y

- 3) implantación de procedimientos directos LNAV únicamente, como excepción de 2), para las pistas de vuelo por instrumentos en aeródromos en donde no hay instalaciones de altímetro local disponibles y donde no hay aeronaves adecuadamente equipadas para operaciones APV con una masa máxima certificada de despegue de 5 700 kg o más;”.

1.4.2.5 La disponibilidad de aviónica ABAS y SBAS en el mercado pone PBN al alcance financiero de todos los explotadores de aeronaves, lo que permite a los Estados diseñar espacio aéreo en ruta y terminal para una capacidad máxima y para satisfacer los requisitos de los explotadores de aeronaves en materia de trayectorias preferidas. Las especificaciones de navegación PBN apoyadas por GNSS permiten a las aeronaves seguir trayectorias de vuelo más eficientes, aun en áreas que reciben servicios eficaces de ayudas convencionales.

1.4.2.6 Las aplicaciones de navegación PBN exigen también bases de datos de navegación sin errores. Por consiguiente, los Estados deberían aplicar procedimientos y sistemas para asegurar la integridad de los datos dado que se procesan para uso en la aviónica. Como se describe en el Capítulo 7, los proveedores de bases de datos comerciales procesan los datos presentados en las publicaciones de información aeronáutica (AIP) de los Estados para uso en la aviónica.

1.4.3 Vigilancia dependiente automática – radiodifusión (ADS-B)

Una performance de vigilancia mejorada constituye la clave para normas de separación reducida, mayor capacidad del espacio aéreo y la capacidad de ofrecer trayectorias preferidas de los usuarios. La ADS-B se basa en que las aeronaves transmiten la posición GNSS, velocidad y otros datos de a bordo. Las estaciones terrestres ADS-B, mucho menos onerosas que los radares, reciben y procesan los datos ADS-B de las aeronaves que se utilizan en las presentaciones de situación para los controladores. Otras aeronaves debidamente equipadas pueden también procesar y presentar esos datos para mejorar la conciencia de la situación de la tripulación de vuelo. Varios Estados han implantado ADS-B en áreas que carecen de cobertura radar, lo que ha permitido reducir la separación desde un máximo de 80 hasta cinco NM, aumentando así la capacidad del espacio aéreo y reduciendo el consumo de combustible y las emisiones. Los futuros conceptos incluyen la utilización de satélites de órbita terrestre baja (LEO) para recibir informes de posición ADS-B de las aeronaves, permitiendo así ampliar el servicio a espacio aéreo oceánico y remoto.

1.4.4 Vigilancia dependiente automática – contrato (ADS-C)

En áreas oceánicas y remotas donde no es posible instalar estaciones terrestres de vigilancia, los informes de posición con marcación de la hora GNSS son retransmitidos a ATC mediante satélite. Con ADS-C, ATC especifica en un contrato el momento de proporcionar informes de posición –normalmente en puntos significativos o a intervalos especificados. Numerosas aeronaves ya utilizan ADS-C en espacio aéreo designado oceánico o continental sin radar, permitiendo así reducir las normas de separación.

1.4.5 Sistemas de aviación que utilizan el tiempo GNSS

GNSS proporciona información horaria precisa que se utiliza en numerosos sistemas de aviación para sincronizar los relojes locales con el tiempo universal coordinado (UTC). Los relojes sincronizados pueden entonces utilizarse para asignar a los sucesos una marca cronológica válida y comparable en el mundo entero. Constituyen ejemplos de aplicaciones actuales o futuras que utilizan el tiempo GNSS los siguientes: ADS-B y ADS-C, navegación 4D y sincronización de trayectorias, hora de llegada requerida, multilateración y multilateración de área amplia, sistemas de seguimiento con varios radares, enlace aeroterrestre de datos, procesamiento de datos de vuelo y redes de comunicaciones terrestres.

1.5 LIMITACIONES DE GNSS Y OTRAS CUESTIONES

1.5.1 Si bien GNSS ofrece beneficios significativos, la tecnología tiene ciertas limitaciones que las autoridades de reglamentación de los Estados y los proveedores ANS deben resolver al introducir servicios basados en GNSS.

1.5.2 En el presente manual se explica la vulnerabilidad de las señales GNSS a las fuentes de interferencia intencional y no voluntaria y a ciertos efectos ionosféricos. Se describen, además, métodos para reducir la posibilidad de que los servicios basados en GNSS puedan interrumpirse controlando eficazmente el uso del espectro y asegurando que dichos problemas se resuelvan adecuadamente al diseñar aviónica y sistemas de aumentación. Se describe en el manual la manera de atenuar las repercusiones en las operaciones de las aeronaves en caso de pérdida temporal de señales GNSS.

1.5.3 GNSS permite aproximaciones directas, con mínimos inferiores, a numerosas pistas que reciben actualmente el servicio de radiofaros no direccionales (NDB) o radiofaros omnidireccionales (VOR). Sin embargo, los mínimos de aproximación dependen también del terreno, las características físicas del aeródromo y la infraestructura aeroportuaria, como la iluminación. Por consiguiente, los Estados deben considerar el costo de satisfacer las normas de aeródromo al planificar nuevas aproximaciones basadas en GNSS o aproximaciones con mínimos inferiores.

1.5.4 El logro de los máximos beneficios de los servicios basados en GNSS en espacio aéreo en ruta y terminal exige que prácticamente todas las aeronaves estén equipadas con aviónica GNSS. En las decisiones relativas a la implantación deben tenerse en cuenta los planes de los explotadores de aeronaves para adquirir equipo, lo que depende de las economías que justifiquen la aviónica y los costos conexos. Los proveedores ANS y los explotadores de aeronaves deben trabajar juntos y coordinar las inversiones en tecnología GNSS.

Capítulo 2

REQUISITOS DE PERFORMANCE

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 En las especificaciones de navegación PBN se definen la precisión, integridad, disponibilidad, continuidad y funcionalidad que se necesitan para determinado concepto de espacio aéreo. Entre los requisitos funcionales figuran: presentación de la posición respecto a la derrota deseada, presentación de la distancia, marcación y hora al punto de recorrido activo, requisitos en materia de bases de datos e indicaciones apropiadas de las fallas.

2.1.2 Al elaborar SARPS relativos a GNSS, se utilizaron los requisitos del sistema total como punto inicial para derivar requisitos específicos de performance respecto a la señal en el espacio. Se consideró también un rendimiento deficiente que afectaría simultáneamente a varias aeronaves.

2.1.3 En el Anexo 10, Volumen I, Capítulo 3, Tabla 3.7.2.4-1 se describen los requisitos detallados de diseño para la performance de los sistemas. En el presente capítulo se describen esos criterios y su relación con los niveles de servicio.

2.2 REQUISITOS

2.2.1 Precisión

2.2.1.1 La precisión de la posición GNSS se define como la diferencia entre la posición calculada y la verdadera.

2.2.1.2 Los sistemas basados en tierra, tales como VOR de muy alta frecuencia (VHF) y los ILS poseen características de error relativamente invariables cronológicamente que pueden medirse durante la inspección en vuelo y luego vigilarse electrónicamente para asegurar la precisión de la señal. No obstante, los errores de GNSS pueden cambiar durante un período de unas horas debido a movimiento de los satélites y efectos ionosféricos. Los sistemas de aumentación se han diseñado para vigilar y compensar dichos cambios.

2.2.2 Integridad y tiempo hasta la alerta

2.2.2.1 La integridad es una medida de la confianza que puede otorgarse a la corrección de la información proporcionada por el sistema total. Incluye la capacidad del sistema para alertar al usuario cuando no debería utilizarse el sistema para la operación prevista. En el caso de una ayuda convencional como ILS, la precisión de la señal puede vigilarse en puntos específicos. En cambio, la integridad de GNSS se basa en que la aviónica realice cálculos complejos para asegurar que el error en la posición calculada no sea superior al máximo permitido para la operación en curso.

2.2.2.2 El nivel de integridad necesario para cada operación se establece respecto a los límites de alerta horizontales o laterales (HAL/LAL) y, para las aproximaciones con guía vertical, límites de alerta vertical (VAL). La aviónica calcula continuamente los niveles de protección correspondientes (HPL/LPL y VPL). Los términos HAL/HPL se utilizan con ABAS y SBAS, mientras que LAL/LPL se utilizan con GBAS. Los niveles de protección son los límites de

confianza superiores respecto a errores de posición; los límites de alerta definen el error de posición máximo permitido para una operación. Cuando un nivel de protección sea superior al límite de alerta correspondiente, la aviónica debe proporcionar una alerta y la tripulación de vuelo debe obedecer los procedimientos prescritos. La integridad de ADS-B, que se describe en otros documentos sobre normas, se vincula con los límites de alerta de GNSS.

2.2.2.3 El tiempo hasta la alerta forma parte del requisito de integridad; es el tiempo máximo permitido desde el inicio de una situación de falla hasta el anuncio en la aeronave.

2.2.2.4 El tipo de operación y la fase de vuelo dictan los errores máximos horizontales/laterales y verticales permitidos, los límites de alerta correspondientes y el tiempo máximo de alerta a la tripulación de vuelo. Estos valores, que se indican en la Tabla 2-1, provienen del Anexo 10 Tabla 3.7.2.4-1.

2.2.3 Continuidad

2.2.3.1 La continuidad es la capacidad del sistema de realizar su función sin interrupciones no programadas durante la operación prevista, expresada como probabilidad. Por ejemplo, debería contarse con una probabilidad elevada de que la guía se mantenga durante la totalidad de un procedimiento de aproximación por instrumentos. En el caso de ABAS, la continuidad depende del número de satélites visibles. Para GBAS y SBAS, la continuidad depende también de la redundancia de los componentes del sistema de aumentación.

2.2.3.2 Los requisitos relativos a la continuidad son menos estrictos para el espacio aéreo en ruta con una baja densidad de tráfico y más estrictos para áreas con elevada densidad de tráfico y espacio aéreo complejo donde una falla podría afectar a un gran número de aeronaves. Los requisitos son también más estrictos para operaciones de aproximación.

2.2.3.3 En las zonas en que existe un elevado grado de dependencia de GNSS para la navegación en ruta y en área terminal, la pérdida del servicio puede atenuarse utilizando otros medios de navegación o mediante radar e intervención del ATC para asegurar el mantenimiento de la separación. Esto no es posible cuando ADS-B constituye la única fuente de vigilancia porque GNSS proporciona la posición ADS-B.

2.2.3.4 Para aproximaciones APV y CAT I basadas en GNSS, la aproximación frustrada se considera como operación normal dado que ocurre cuando una aeronave baja hasta la altitud de decisión para la aproximación y la tripulación de vuelo no puede continuar con la referencia visual. El requisito de continuidad para estas operaciones se aplica al riesgo medio (durante el tiempo) de pérdida de servicio, normalizado hasta un tiempo de exposición de 15 segundos. Por consiguiente, el riesgo específico de pérdida de continuidad para determinada aproximación podría ser superior a los requisitos medios sin afectar necesariamente a la seguridad operacional del servicio proporcionado o la aproximación. Una evaluación de la seguridad operacional realizada para un sistema llegó a la conclusión de que, en las circunstancias especificadas en la evaluación, era más seguro proseguir el suministro de servicio que interrumpirlo. Al calcular la continuidad, no deberían considerarse las fallas previstas para las que se distribuye un aviso a los aviadores (NOTAM).

2.2.4 Disponibilidad

2.2.4.1 La disponibilidad de un servicio es la parte del tiempo durante el cual el sistema proporciona simultáneamente la precisión y la integridad requeridas. En realidad, la integridad siempre determina la disponibilidad. Algunas aplicaciones poseen requisitos de continuidad específicos que deben satisfacerse para considerar que el servicio está disponible. El movimiento de los satélites respecto a un área de cobertura complica la disponibilidad de GNSS, al igual que la demora posible relacionada con la reanudación del servicio de un satélite que haya fallado. El nivel de disponibilidad en un espacio aéreo dado en cierto momento debería determinarse mediante diseño, análisis y elaboración de modelos, más bien que mediante medición. En el Anexo 10, Volumen I, Adjunto F, figura un texto de orientación relativo a la fiabilidad y disponibilidad.

2.2.4.2 Las especificaciones sobre disponibilidad en el Anexo 10, Volumen I, Capítulo 3, Tabla 3.7.2.4-1, presentan una gama de valores válidos para todas las fases de vuelo. Al establecer especificaciones sobre disponibilidad para determinado espacio aéreo, los Estados deberían tener en cuenta la densidad del tráfico, las ayudas convencionales disponibles, la cobertura de vigilancia radar, la duración y extensión geográfica posible de las fallas, así como los procedimientos de vuelo y ATC.

Tabla 2-1. Requisitos de performance respecto a la señal en el espacio

Operación	Oceánico en ruta	Continental en ruta	Terminal	Aproximación que no es de precisión	Procedimiento de aproximación con guía vertical (APV)		Categoría I (CAT I)
					APV-I	APV-II	
Límite de alerta horizontal	7,4 km (4 NM)	3,7 km (2 NM)	1,85 km (1 NM)	556 m (0,3 NM)	40 m (130 ft)	40 m (130 ft)	40 m (130 ft)
Límite de alerta vertical	N/A	N/A	N/A	N/A	50 m (164 ft)	20 m (66 ft)	35 a 10 m (115 a 33 ft)
Tiempo hasta la alerta	5 min	5 min	15 s	10 s	10 s	6 s	6 s

Nota 1.— Para la aproximación que no es de precisión basada en ABAS, los mínimos LNAV se especifican en cartas. Existe otro tipo de aproximación que no es de precisión en que se utiliza SBAS para lograr la performance del localizador con una HAL de 40 m; en este caso los mínimos LP se indican en la carta.

Nota 2.— La APV implantada con SBAS tiene los mínimos LPV especificados en las cartas. Estos procedimientos pueden basarse en límites de alerta APV-I, APV-II o CAT I. Los límites de alerta se vinculan con la performance de SBAS y están almacenados en la base de datos de la aviónica. Un Estado puede elaborar procedimientos APV con límites de alerta geográficamente diferentes (p. ej., APV-I cerca del límite de cobertura, CAT I en los demás lugares).

Nota 3.— El término APV abarca también las aproximaciones con guía lateral GNSS mientras que Baro VNAV proporciona la vertical; los mínimos correspondientes figuran en las cartas como LNAV/VNAV. En este caso, el límite de alerta horizontal es generalmente para la aproximación que no es de precisión basada en ABAS y el límite de alerta vertical no se aplica dado que no existe un método técnico para establecer la integridad de Baro VNAV. El diseño de los procedimientos de aproximación explica la performance técnica de Baro VNAV, que se define en el Manual PBN.

Capítulo 3

CONSTELACIONES PRINCIPALES DE SATÉLITES EXISTENTES

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Los satélites GPS y GLONASS transmiten señales horarias muy precisas y mensajes de datos que incluyen sus parámetros orbitales (datos de efemérides). Si los relojes de los receptores estuviesen perfectamente sincronizados con los relojes muy precisos de los satélites, un receptor podría calcular su posición tridimensional conociendo su distancia respecto a tres satélites. En la práctica, calcula las “seudodistancias” respecto a un mínimo de cuatro satélites, así como sus posiciones en el momento de la transmisión. Al determinar la seudodistancia del cuarto satélite, el receptor puede calcular la diferencia de hora del reloj. La precisión depende de la de las mediciones de distancia y las posiciones relativas (geometría) de los satélites utilizados. La geometría es ideal cuando los satélites están muy separados; es limitada cuando están agrupados en una sola dirección. La eficacia de GNSS aumenta cuando se utiliza simultáneamente más de una constelación.

3.2 SISTEMA MUNDIAL DE DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN (GPS)

3.2.1 La Fuerza Aérea de los Estados Unidos explota GPS para el gobierno de dicho país. En 1994, los Estados Unidos ofrecieron el servicio de determinación de la posición normalizado (SPS) de GPS para satisfacer las necesidades de la aviación civil internacional y reafirmó la oferta en 2007 como sigue: “El Gobierno de los Estados Unidos mantiene su compromiso de proporcionar las señales SPS de GPS de manera continua a escala mundial, sin derechos directos para los usuarios, permitiendo servicios PNT civiles mundiales basados en el espacio (incluidas las aumentaciones del SPS de GPS), y proporcionar acceso abierto y libre a la información necesaria para desarrollar y construir equipo para utilizar tales servicios”. El Consejo de la OACI aceptó ambas ofertas. Los Estados Unidos han publicado una norma sobre performance de GPS en que se define un nivel de servicio mínimo.

3.2.2 El segmento espacial nominal de GPS está constituido por 24 satélites en seis planos orbitales. Los satélites funcionan en órbitas casi circulares a una altitud de 20 200 km (10 900 NM) y un ángulo de inclinación de 55° respecto al plano ecuatorial; cada satélite realiza una órbita en unas 12 horas. El segmento de control de GPS cuenta con 17 estaciones de vigilancia y cuatro antenas terrestres con capacidad de enlace ascendente. Las estaciones de vigilancia utilizan receptores GPS para seguir todos los satélites visibles y acumular los datos sobre distancia. La estación de control principal procesa dicha información para determinar el estado de los relojes y órbitas de los satélites y actualizar el mensaje de navegación de cada satélite. Dicha información actualizada se transmite a los satélites mediante antenas terrestres, que se utilizan también para recibir y transmitir información sobre el estado de funcionamiento y el control.

3.2.3 El mensaje de navegación está constituido por tres componentes principales: el primero contiene la fecha y el tiempo GPS, así como la situación del satélite y una indicación de su estado de funcionamiento; el segundo contiene información orbital llamada datos de “efemérides” que permite al receptor calcular la posición del satélite; y el tercero, llamado “almanaque”, proporciona emplazamientos y códigos de ruido pseudoaleatorio (PRN) de todos los satélites, lo que permite al receptor determinar los satélites que están visibles.

3.2.4 El objetivo de SPS de GPS consiste en proporcionar a los usuarios mundiales posiciones precisas utilizando un código de adquisición aproximativa (C/A) en la frecuencia L1 (1 575,42 MHz). Un servicio de determinación precisa de la posición (PPS), que utiliza un código de precisión (código P) en L2 (1 227,6 MHz), proporciona una capacidad más precisa de determinación de la posición, pero está cifrado para limitar su uso a los organismos autorizados. GPS utiliza el acceso múltiple por división de código (CDMA), lo que significa que todos los satélites transmiten en la misma frecuencia y se diferencian por códigos de transmisión PRN únicos.

3.2.5 La norma de performance del SPS de GPS define el nivel de compromiso de performance para usuarios civiles. En la especificación de interfaz IS-GPS 200 se describen las características técnicas de la portadora de la banda L de SPS y el código C/A, así como la definición técnica de los requisitos entre la constelación GPS y los receptores SPS. La norma de performance tiene un valor prudente, dado que garantiza únicamente 21 satélites operacionales. El diseño del servicio basado en GNSS debe apoyarse en garantías prudentes, pero esto significa que la disponibilidad del servicio será superior a los niveles de diseño la mayor parte del tiempo. Algunas veces, el número de satélites operacionales ha sobrepasado 30. GPS ha satisfecho las normas de performance vigentes continuamente desde 1993. En el sitio web del Centro de navegación de los Guardacostas de los Estados Unidos (www.navcen.uscg.gov) figura información adicional.

3.2.6 Se introdujeron los servicios basados en GNSS cuando GPS alcanzó plena capacidad operacional en 1993 y en 2012 siguió proporcionando tales servicios. Además, la disponibilidad de la norma sobre performance de GPS permitió a los fabricantes, autoridades de reglamentación y proveedores ANS emprender el desarrollo de normas y sistemas GPS.

3.2.7 Los Estados Unidos han elaborado la siguiente política PNT basada en el espacio (véase <http://www.gps.gov>) para guiar sus esfuerzos en un desarrollo más amplio de GPS y sistemas de aumentación:

- a) proporcionar GPS y aumentaciones sin ningún derecho directo para los usuarios de manera continua a escala mundial;
- b) proporcionar acceso abierto y libre a la información necesaria para desarrollar equipo de usuarios;
- c) mejorar la performance de GPS y las aumentaciones; y
- d) asegurarse de que los sistemas internacionales sean interoperables, o al menos compatibles, con GPS y las aumentaciones civiles.

3.3 SISTEMA MUNDIAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE (GLONASS)

3.3.1 El Ministerio de Defensa de la Federación de Rusia opera GLONASS. La Agencia espacial federal de la Federación de Rusia fue designada para actuar como coordinadora de las actividades de mantenimiento y desarrollo del sistema GLONASS, de las aplicaciones civiles y la correspondiente cooperación internacional. En 1996, la Federación de Rusia ofreció el servicio GLONASS a la aviación civil en los términos siguientes: "... confirmar, en nombre del gobierno de la Federación de Rusia, la propuesta formulada en la 10ª Conferencia de navegación aérea relativa al suministro de un canal GLONASS de precisión normalizada a la comunidad de aviación mundial durante un período no inferior a 15 años sin cobrarse derechos directos a los usuarios". El Consejo de la OACI aceptó la oferta.

3.3.2 El segmento espacial nominal de GLONASS consiste en 24 satélites operacionales y varios de reserva. Los satélites GLONASS tienen una órbita situada a una altitud de 19 100 km (10 310 NM) con un período orbital de 11 horas y 15 minutos. En cada uno de los tres planos orbitales están dispuestos ocho satélites a distancia igual, con una inclinación de 64,8° respecto al ecuador y una separación de 120°. GLONASS proporciona determinaciones de posición y velocidad en tres dimensiones basándose en la medición del tiempo de tránsito y la desviación Doppler de las señales de radiofrecuencias (RF) transmitidas por los satélites GLONASS.

3.3.3 El mensaje de navegación transmitido por cada satélite consiste en coordenadas del satélite, componentes de velocidad y vector de aceleración, información sobre el estado de funcionamiento del satélite y correcciones al tiempo del sistema GLONASS. Los satélites GLONASS transmiten señales de navegación en la banda de frecuencias L1 (1 559 – 1 610 MHz) moduladas mediante códigos de canal de exactitud normal (CSA) y que contienen el mensaje de datos de navegación. GLONASS se basa en el concepto de acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA), de modo que cada satélite transmite señales de portadora en una frecuencia diferente. Un receptor GLONASS separa la señal total procedente de todos los satélites visibles asignando frecuencias diferentes a sus canales de seguimiento. El uso de FDMA permite a cada satélite GLONASS transmitir un código CSA idéntico.

3.3.4 El mensaje de datos de navegación proporciona información relativa a la situación del satélite que transmite y sobre los demás satélites de la constelación. Desde el punto de vista del usuario, los elementos principales de la información en una transmisión de satélites GLONASS consiste en parámetros de corrección de relojes y la posición del satélite (efemérides). Las correcciones de relojes GLONASS proporciona datos en que se indica la diferencia entre el tiempo de determinado satélite y el del sistema GLONASS, que se indica en tiempo universal coordinado (UTC).

3.3.5 La información de efemérides incluye la posición tridimensional geocéntrica fijada en la Tierra, la velocidad y la aceleración para cada época de media hora de cada satélite. Para un tiempo de medición en algún momento entre las épocas de media hora, el usuario interpola las coordenadas del satélite utilizando la posición, velocidad de aceleración de las marcas de media hora antes y después de dicho tiempo.

3.3.6 El segmento de control de GLONASS efectúa la vigilancia de satélites y las funciones de control y determina los datos de navegación que deben modularse en las señales cifradas de navegación de los satélites. El segmento de control incluye una estación de control principal y estaciones de vigilancia y enlace ascendente. La primera procesa los datos de medición de cada estación de vigilancia y calcula los datos de navegación que las estaciones de enlace ascendente transmiten a los satélites. El funcionamiento del sistema exige una sincronización precisa de los relojes de los satélites con el tiempo del sistema GLONASS. Para lograr dicha sincronización, la estación de control principal proporciona parámetros de corrección de relojes.

3.3.7 En el sitio web <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/> figura información más amplia sobre GLONASS, incluido el *Documento de control de interfaz de GLONASS*.

Capítulo 4

SISTEMAS DE AUMENTACIÓN

4.1 GENERALIDADES

4.1.1 Las actuales constelaciones principales de satélites exigen aumentación mediante ABAS, GBAS o SBAS para satisfacer los requisitos de performance del Anexo 10 para operaciones específicas. La aviónica GNSS procesa las señales procedentes de dichas constelaciones y, cuando existan, las señales GBAS o SBAS, para satisfacer los requisitos. En el Apéndice A figura la lista de los documentos que contienen normas sobre aviónica.

4.2 SISTEMA DE AUMENTACIÓN BASADO EN LA AERONAVE (ABAS)

4.2.1 ABAS es una implantación de aviónica que procesa las señales de la constelación principal con información de a bordo de las aeronaves. Numerosos Estados han aprovechado GPS/ABAS para mejorar el servicio sin incurrir en gastos de infraestructura.

4.2.2 Existen dos categorías generales de vigilancia de la integridad: la comprobación autónoma de la integridad en el receptor (RAIM), que utiliza exclusivamente información GNSS, y la comprobación autónoma de la integridad en la aeronave (AAIM), que también utiliza información procedente de sensores adicionales de a bordo como los sistemas de referencia inercial (IRS).

4.2.3 ABAS proporciona vigilancia de la integridad utilizando mediciones telemétricas redundantes para detección de fallas (FD) o detección de fallas y exclusión (FDE) cuyo objetivo consiste en detectar un error posible de posición causado por un satélite que sea superior a las tolerancias. Después de la detección, se pierde la función de navegación. La aviónica con FDE identifica y excluye el satélite con falla permitiendo así que continúe la navegación GNSS sin interrupción, a condición de que permanezcan visibles satélites en buen estado de funcionamiento con geometría apropiada.

4.2.4 El receptor de GNSS básico, elemento esencial de ABAS, permite operaciones en ruta, en área terminal y NPA y proporciona, como mínimo, detección de fallas RAIM. Para mejorar la performance global del sistema de navegación de las aeronaves, el receptor GNSS puede incorporarse como sensor en un sistema de navegación integrado.

4.2.5 Un receptor de GNSS básico satisface los requisitos para un receptor GPS, según lo descrito en el Anexo 10 y las especificaciones de RTCA/DO-208 o EUROCAE ED-72A, enmendadas por TSO-C129c de la Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos o ETSO-C129A de la Agencia Europea de Seguridad de la Aviación (AESA) (o equivalente). En estos documentos se especifican las normas de performance mínima para operaciones en ruta, en área terminal y NPA. RAIM satisface el requisito PBN para la vigilancia de performance y alerta de a bordo prescrita en las especificaciones sobre performance de navegación requerida (RNP). En la Federación de Rusia se utilizan receptores de a bordo con GLONASS y GPS combinados.

4.2.6 Además de la detección de fallas de RAIM, un receptor de GNSS básico debe permitir anticipar turnos y obtener procedimientos de aproximación de una base de datos de navegación electrónica de sólo lectura. El diseño del receptor no permite aproximaciones con puntos de recorrido definidos por el usuario; si la tripulación de vuelo modifica o suprime un punto de recorrido que forma parte de una aproximación, el receptor no pasa al modo de aproximación.

4.2.7 RAIM exige mediciones telemétricas redundantes de satélites (al menos cinco satélites con geometría apropiada) para detectar una señal de falla y alertar a la tripulación de vuelo; FDE exige seis. La disponibilidad de RAIM y FDE es ligeramente inferior para operaciones a latitudes intermedias y ligeramente superior para regiones ecuatoriales y de altitudes superiores debido al carácter de las órbitas de la constelación principal. Se exigen señales redundantes porque la guía de navegación con integridad proporcionada por RAIM tal vez no esté presente todo el tiempo, de modo que las aprobaciones GPS/RAIM generalmente implican restricciones operacionales.

4.2.8 Puede utilizarse un altímetro barométrico para obtener una medición adicional que reduzca en uno el número de satélites visibles necesarios para RAIM y FDE. La ayuda barométrica puede también contribuir a aumentar la disponibilidad cuando es suficiente el número de satélites visibles, pero con una geometría no adecuada para la función de integridad. La ayuda barométrica RAIM es diferente a la función de navegación vertical barométrica (Baro VNAV) utilizada para aproximaciones con guía vertical hasta mínimos en LNAV/VNAV.

4.2.9 Se introducen en los algoritmos RAIM y FDE la desviación normal del ruido de medición, la geometría de medición y las probabilidades máximas permisibles para una falsa alerta y una detección que haya fallado. El algoritmo produce HPL, que es el radio de un círculo centrado en la posición verdadera de la aeronave, que se garantiza que contiene la posición horizontal indicada dentro del requisito de integridad especificado. Normalmente, el valor de HPL es significativamente superior a todo error de posición, pero su valor es la clave de la integridad de la posición.

4.2.10 Ocurre una alerta RAIM cuando la geometría de los satélites es poco apropiada, por lo que HPL es superior a HAL, en cuyo caso se pierde la capacidad de detectar un satélite que haya fallado. El tipo de operación determina HAL, específicamente 2 NM para en ruta, 1 NM para área terminal y 0,3 NM para el tramo de aproximación final de un procedimiento NPA. Por consiguiente, la disponibilidad de RAIM es lo más elevada en ruta y lo más baja para NPA. La detección de una falla de satélite por el algoritmo RAIM también activa una alerta, que da lugar a la pérdida de la capacidad de navegación GNSS a menos que el receptor cuente con FDE.

4.2.11 Algunos Estados han aprobado el uso de GPS como único servicio de navegación en el espacio aéreo interno y en áreas oceánicas y remotas; en tales casos, la aviónica necesita FDE. En el marco de dichas aprobaciones, puede exigirse que las aeronaves comerciales cuenten con sistemas dobles y, para asegurar la continuidad, los explotadores deben realizar predicciones previas al vuelo para asegurarse de que se contará con suficientes satélites visibles para el servicio a todo lo largo del vuelo previsto.

4.2.12 Hasta el 1 de mayo de 2000, los Estados Unidos aplicaron una característica llamada "disponibilidad selectiva" (SA) que reducía la precisión de GPS. La interrupción de SA mejoró inmediatamente la precisión de GPS. Como se describe en 4.3.3, esto aumentó también la disponibilidad de integridad para algunos diseños de receptores.

4.2.13 La información GNSS puede integrarse con información ajena a GNSS para mejorar la performance de navegación. Un sistema de referencia inercial (IRS) o de navegación de área con datos de equipo radiotelemétrico (DME) múltiple puede utilizarse durante cortos períodos con geometría de satélites poco apropiada o cuando la estructura de la aeronave produzca sombras a las antenas GNSS durante maniobras. La combinación de FD o FDE de GNSS, junto con la precisión a corto plazo de IRS atenúa los efectos de la interferencia en las señales o la pérdida de servicio debido a sucesos ionosféricos. Estas aumentaciones de a bordo pueden certificarse de conformidad con TSO-C115A de la FAA de los Estados Unidos.

4.3 SISTEMA DE AUMENTACIÓN BASADO EN SATÉLITES (SBAS)

4.3.1 Arquitectura y operación del sistema SBAS

4.3.1.1 SBAS aumenta las constelaciones principales de satélites proporcionando información de integridad y corrección; algunos sistemas proporcionan también señales telemétricas adicionales. Las estaciones de referencia SBAS, distribuidas por un área amplia, vigilan las señales de los satélites de la constelación principal y continuamente proporcionan datos a las estaciones principales. Éstas utilizan los datos para evaluar la validez de la señal de los satélites y calculan correcciones a las efemérides transmitidas y a los datos de los relojes para cada satélite. Las estaciones principales SBAS estiman también la demora telemétrica introducida por la ionosfera de la Tierra y calculan las correcciones aplicables en puntos de cuadrícula predeterminados de la ionosfera. Además de proporcionar correcciones, evalúan los parámetros que limitan la incertidumbre en las correcciones. El error de distancia diferencial del usuario (UDRE) para cada satélite describe la incertidumbre en las correcciones de relojes y efemérides para dicho satélite. El error vertical de cuadrícula ionosférica (GIVE) para cada punto de cuadrícula de la ionosfera describe la incertidumbre en las correcciones ionosféricas alrededor de dicho punto.

4.3.1.2 Las estaciones principales generan mensajes SBAS que las estaciones de enlace ascendente transmiten a los satélites GEO, cuyos transpondedores los retransmiten, a su vez, en la frecuencia GPS L1 utilizando un código PRN único. Un satélite GEO aparece estacionario sobre el ecuador a determinada longitud, de modo que sus señales cubren prácticamente un hemisferio completo salvo las regiones polares.

4.3.1.3 SBAS puede enviar un mensaje "NO SE UTILICE" si detecta un satélite que ha fallado o un mensaje "NO VIGILADO" si el satélite no es visible para ninguna de las estaciones de vigilancia. Un satélite con un mensaje "NO SE UTILICE" no puede utilizarse en ninguna circunstancia, mientras que un satélite con un mensaje "NO VIGILADO" puede utilizarse en modo ABAS RAIM/FDE.

4.3.1.4 Las correcciones ionosféricas son indispensables para proporcionar la precisión e integridad necesarias para APV, exigiendo una amplia red de estaciones de referencia para medir las demoras ionosféricas. Como ejemplo, WAAS utiliza 38 estaciones de referencia en Canadá, México y los Estados Unidos para satisfacer estos requisitos. Como se describe en el Capítulo 5, la ionosfera es muy activa en las regiones ecuatoriales, resultando técnicamente muy difícil para la actual generación de SBAS proporcionar aproximaciones con guía vertical en dichas regiones.

4.3.1.5 Los SARPS GNSS permiten tres niveles de capacidad SBAS que proporcionan: situación de los satélites principales y telemetría GEO; correcciones de relojes y efemérides; y correcciones de relojes, efemérides e ionosfera. Los primeros dos niveles permiten PBN en ruta hasta NPA, mientras que el tercero permite también APV.

4.3.2 Aviónica SBAS

4.3.2.1 "Receptor SBAS" designa la aviónica GNSS que satisface los requisitos mínimos descritos en el Anexo 10 y las especificaciones de RTCA/DO-229D, enmendadas por TSO-C145c de la FAA o ETSO C145C de AESA para sensores que proporcionan datos a otros sistemas de a bordo, o TSO-C146c o ETSO C146C para sistemas autónomos.

4.3.2.2 Cuatro clases de aviónica SBAS ofrecen diferentes capacidades de performance. El equipo de Clase I se utiliza para operaciones en ruta, en área terminal y aproximaciones LNAV. La Clase II se utiliza en ruta hasta operaciones de aproximación LNAV/VNAV. Las Clases III y IV se utilizan en ruta, en área terminal y para cuatro niveles de mínimos de aproximación: LPV, LP, LNAV/VNAV y LNAV.

4.3.2.3 El receptor SBAS produce posiciones tridimensionales con corrección diferencial aplicando las efemérides y las correcciones de reloj transmitidas e interpolando entre puntos de cuadrícula para calcular la corrección ionosférica para todo el alcance óptico a cada satélite. Esto proporciona la precisión de posición necesaria para aproximaciones APV.

4.3.2.4 El receptor SBAS combina estimaciones de error UDRE y GIVE y de incertidumbres en su propia precisión de medición de pseudodistancia y en su modelo de demora troposférica para calcular HPL y VPL. Estos valores se comparan continuamente con HAL y, para aproximaciones APV, VAL. Si se sobrepasa cualquier límite de alerta, la aviónica alerta a la tripulación de vuelo.

4.3.2.5 Para operaciones de aproximación, la aviónica SBAS debe anunciar el nivel de servicio más elevado obtenido combinando el nivel de integridad de la señal SBAS y la certificación del receptor y utilizando las convenciones de nombres en las líneas de mínimos en la carta de procedimientos de aproximación. La aviónica SBAS permite el vuelo según el procedimiento RNAV completo y puede también funcionar en un vector hasta el modo final.

4.3.2.6 La aviónica SBAS puede también proporcionar guía vertical de asesoramiento al efectuar aproximaciones NDB y VOR y NPA GNSS en áreas donde un SBAS permite este nivel de servicio, estabilizando así el descenso. En este caso, la tripulación de vuelo tiene la responsabilidad de aplicar todas las altitudes mínimas especificadas en la carta de aproximación.

4.3.2.7 La integridad de los procedimientos de aproximación con guía vertical depende de la validez de los datos utilizados para definir la aproximación. Para todas las aproximaciones con guía vertical, la aviónica SBAS utiliza datos de un bloque de datos del tramo de aproximación final (FAS) en la base de datos de la aviónica. Los datos FAS están protegidos con elevada integridad mediante una verificación de redundancia cíclica que aplica un algoritmo de cálculo para validar los datos, concretamente para detectar todo cambio en el valor de estos últimos después de su definición original.

4.3.2.8 Las normas relativas a la aviónica SBAS prescriben una interfaz piloto/aviónica bastante mejorada y más normalizada en comparación con la aviónica GNSS básico. Esto reduce la carga de trabajo de la tripulación de vuelo y es particularmente útil durante las aproximaciones frustradas y otras fases de vuelo de elevada carga de trabajo.

4.3.2.9 En prácticamente toda instalación de aviónica SBAS, la tripulación de vuelo cargará aproximaciones específicas de la base de datos seleccionando el aeropuerto, la pista y la aproximación. Sin embargo, si la aviónica tiene una interfaz muy básica con el piloto, es posible seleccionar una aproximación entrando el número de canal de aproximación SBAS que aparece en cada carta de aproximación.

4.3.2.10 La aviónica SBAS debe seguir los GEO que están transmitiendo correcciones para la posición actual y deben poder pasar rápidamente entre los datos SBAS de un GEO a otro GEO para lograr la máxima continuidad de funcionamiento. Los requisitos mínimos de aviónica permiten utilizar cualquier proveedor de servicios SBAS y combinar información procedente de más de un proveedor para procedimientos en ruta SBAS, en área terminal y aproximaciones LNAV. Para operaciones APV, la aviónica SBAS debe utilizar únicamente el SBAS definido en el bloque de datos FAS. Esta característica ofrece cierto control a los proveedores ANS en áreas donde las señales de aumentación procedentes de dos o más SBAS podrían proporcionar el servicio necesario.

4.3.2.11 Independientemente de la disponibilidad del servicio SBAS en un Estado, la aviónica SBAS proporciona un aumento considerable de disponibilidad para en ruta hasta NPA en comparación con los receptores GNSS básicos aprovechando el hecho de que se discontinúa la SA, incluyendo funcionalidad FDE y utilizando telemetría de satélites GEO. Esto permite a los Estados levantar las restricciones operacionales que se necesitan al utilizar receptores GNSS básico.

4.3.2.12 La mayoría de las aviónicas TSO-C129 suponen que SA está presente y para ellas la disponibilidad RAIM media es del 99,99% para en ruta y 99,7% para NPA con una constelación GPS de 24 satélites. La disponibilidad FDE va de 99,8% para en ruta hasta 89,5% para NPA. Para aviónica SBAS y DO-316/TSO C196, que carece de funciones SBAS, la disponibilidad de RAIM es del 100% para en ruta y 99,998% para NPA; la disponibilidad FDE varía de 99,92% para en ruta hasta 99,1% para operaciones NPA.

4.3.3 Operaciones SBAS

4.3.3.1 En la mayoría de los casos, las aproximaciones SBAS aumentan la capacidad de uso del aeropuerto mediante mínimos más bajos, proporcionando al mismo tiempo las ventajas de seguridad operacional de la guía vertical. Dichas mejoras son asequibles en la mayoría de los aeropuertos porque la aproximación SBAS no exige infraestructura SBAS en el aeropuerto. Sin embargo, los mínimos dependen del entorno físico (obstáculos, pista e iluminación). Los niveles de disponibilidad de SBAS permiten a los explotadores aprovechar los mínimos de aproximación por instrumentos SBAS al designar un aeropuerto de alternativa.

4.3.3.2 Sólo existirá una aproximación con mínimos LPV a un extremo de pista, basándose en el nivel de servicio que SBAS ofrece en el aeropuerto. El bloque de datos FAS define HAL y VAL para el procedimiento correspondiente, pero dichos valores son transparentes para la tripulación de vuelo, que utilizará los mínimos LPV publicados. Las cartas de aproximación que incluyen procedimientos SBAS se llaman RNAV (GNSS) RWY NN y pueden tener hasta cuatro líneas de mínimos: LPV (o LP), LNAV/VNAV, LNAV y circuito. Las cartas tendrán líneas de mínimos LPV o LP, pero no ambos. Los mínimos LP aparecerán únicamente cuando no sea posible designar un procedimiento con guía vertical debido al terreno u obstáculos.

4.3.3.3 Inicialmente se preveía que 75 m (250 ft) serían la altura de decisión (DH) más baja con SBAS. La experiencia con WAAS ha demostrado que esta suposición era demasiado prudente y que un VAL de 35 m (115 ft) permitiría una DH de 60 m (200 ft) (LPV-200), equivalente a ILS CAT I. Los Estados Unidos llevaron a cabo un análisis en que se compararon los errores verticales WAAS registrados con los límites de monitor dependiente de planeo ILS. La desviación de la pendiente de planeo ILS en emplazamiento de DH nominal de 60 m (200 ft) puede alcanzar 17 m (55 ft) y permanecer dentro de los límites del monitor. Por su parte, la tolerancia en una inspección en vuelo en un emplazamiento DH de 60 m (200 ft) es de 12 m (40 ft). Basándose en más de 1,76 mil millones de observaciones con un VAL equivalente a 35 m (115 ft) o menos, el error vertical de la señal en el espacio WAAS máximo observado era de 8,9 m (29 ft). El servicio europeo de complemento geoestacionario de navegación (EGNOS) ha observado una retención semejante. Un error vertical SBAS en la aproximación da lugar a una trayectoria vertical paralela a la trayectoria de diseño pero con distorsión superior o inferior. Un altímetro barométrico, independiente de SBAS, define la DH; sin embargo, para una distorsión baja, la aeronave podría alcanzar DH a mayor distancia de la pista que la posición nominal. En el análisis se examinó un error vertical bajo sumamente prudente de 35 m (115 ft) como peor caso y se demostró que la aeronave permanecería dentro de las superficies de franqueamiento de obstáculos de ILS CAT I. Debido a diversas hipótesis en el análisis, en el Anexo 10 se exige que otros Estados evalúen la seguridad operacional a nivel de sistema antes de emprender operaciones LPV-200.

4.3.4 Cobertura y áreas de servicio SBAS

4.3.4.1 Las zonas de cobertura de los satélites GEO definen la zona de cobertura de un SBAS. Dentro de esta última, los Estados pueden establecer áreas de servicio donde SBAS permite operaciones aprobadas. Otros Estados dentro de la zona de cobertura podrían también establecer áreas de servicio instalando estaciones de referencia y vigilancia integradas en cooperación con el proveedor de SBAS o aprobando el uso de señales SBAS. La primera opción ofrece mejor performance y cierto grado de control. La segunda opción carece de todo control y la performance depende de la proximidad del SBAS principal respecto al área de servicio. En ambos casos, un Estado que haya establecido un área de servicio SBAS tiene la responsabilidad de designar los tipos de operaciones que pueden llevarse a cabo dentro de dicha área y asume la responsabilidad de las señales SBAS dentro del área de servicio.

4.3.4.2 Con un SBAS plenamente implantado, las funciones de telemetría, situación del satélite y corrección diferencial básica son disponibles en toda la zona de cobertura de GEO y son técnicamente adecuadas para NPA dado que proporcionan datos de vigilancia e integridad para satélites principales y SBAS.

4.3.4.3 Las normas de aviónica SBAS aseguran operaciones eficaces y transparentes al pasar de un área de servicio SBAS a otra o a un área donde ningún SBAS proporcione servicio. En este último caso, el receptor pasa automáticamente a navegación utilizando FDE. El receptor puede también reanudar la navegación basada en SBAS

cuando dicho cambio sea ventajoso, lo que brinda capacidad de navegación mundial para operaciones PBN en ruta, en área terminal y aproximaciones.

4.3.4.4 Cerca del borde de un área de servicio SBAS es probable que haya deficiencia de disponibilidad de la integridad para APV. Los Estados deberían examinar la disponibilidad para aeropuertos en dichas áreas, aplicando simulaciones y, en algunos casos, técnicas de recopilación de datos y abstenerse de implantar aproximaciones con mínimos LPV cuando una disponibilidad inferior pudiera crear problemas operacionales.

4.3.4.5 El sistema de aumentación de área amplia (WAAS), desarrollado por los Estados Unidos, ha estado funcionando desde 2003. En 2007, los Estados Unidos se comprometieron a proporcionar "... señales WAAS en una sola frecuencia, sin discriminación ni derechos directos para los usuarios, en toda la zona de cobertura de los satélites WAAS dentro de su volumen de servicio prescrito y proporcionar acceso abierto y libre a la información necesaria para desarrollar y construir equipo para utilizar dichos servicios". En virtud de acuerdos bilaterales, Canadá y México acogieron estaciones de referencia WAAS, poniendo el servicio SBAS al alcance de los tres Estados. En 2007, el MSAS de Japón pasó a ser operacional y, en 2011, EGNOS de Europa. La Comisión Europea (CE) ha informado a la OACI que el servicio de seguridad de la vida (SoL) de EGNOS se ofrecía a la comunidad de aviación civil internacional sin derechos directos para los usuarios. El sistema GAGAN de la India está en desarrollo y se prevé que sea operacional en 2013. Los mencionados sistemas aumentan GPS pero no GLONASS. SDCM de la Federación de Rusia está en desarrollo y se prevé que sea operacional en 2015; se ha diseñado para proporcionar correcciones e integridad para GPS y GLONASS a los usuarios de GNSS. Al ajustarse a las normas del Anexo 10, estos sistemas pueden ofrecer servicios sin discontinuidades en los lugares en que sus áreas de servicio se superponen. EGNOS, GAGAN, SDCM y WAAS fueron diseñados para operaciones en ruta hasta APV; a partir de 2010, MSAS permite operaciones en ruta hasta NPA; Japón está examinando la viabilidad técnica respecto a aproximaciones APV.

4.3.4.6 Pese a que EGNOS, GAGAN, MSAS, SDCM y WAAS tengan arquitecturas diferentes, todos transmiten el formato de mensaje normalizado en la misma frecuencia (GPS L1), por lo que son interoperables desde la perspectiva de la aeronave. Cuando las zonas de cobertura SBAS se superponen, un explotador de SBAS puede vigilar y transmitir mensajes de integridad y corrección para los satélites GEO de otro SBAS, mejorando así la disponibilidad al añadir fuentes de telemetría. Se alienta a todos los explotadores de SBAS a implantar este perfeccionamiento del sistema.

4.3.4.7 La aviónica SBAS funcionará dentro de la zona de cobertura de cualquier SBAS. Los Estados o regiones deberían coordinarse por intermedio de la OACI a fin de evitar que las operaciones se sometan a restricciones operacionales cuando se cuente con señales SBAS válidas. Si un Estado no aprueba el uso de alguna o todas las señales SBAS para en ruta hasta operaciones en área terminal, los pilotos que utilizan aviónica SBAS tendrían que desactivar GNSS completamente, dado que en las normas del receptor no se especifica la capacidad para desactivar un SBAS en particular para dichas operaciones. Esto haría que las operaciones GNSS fuesen imposibles y podría agravar los problemas de seguridad operacional.

4.4 SISTEMA DE AUMENTACIÓN BASADO EN TIERRA (GBAS)

4.4.1 Arquitectura del sistema GBAS

4.4.1.1 Una estación terrestre GBAS está situada en el aeropuerto al que presta servicio o cerca del mismo. La estación terrestre vigila las señales de la constelación principal y transmite correcciones de pseudodistancia, parámetros de integridad y datos de definición de aproximaciones, localmente pertinentes, a las aeronaves en el área terminal mediante radiodifusión de datos en VHF (VDB) en la banda de 108,025 – 117,975 MHz. Como se define en el Anexo 10, GBAS no permitirá la aproximación de precisión de CAT I y el suministro del servicio de determinación de la posición de GBAS en el área terminal. Se ha finalizado un proyecto de enmienda de SARPS a fin de que GBAS se utilice para aproximaciones CAT II/III; dichos SARPS están siendo validados por Estados y la industria. El nivel de servicio de GBAS determina la complejidad de una estación terrestre GBAS.

4.4.1.2 El servicio de aproximación de precisión GBAS proporciona guía de desviación lateral y vertical para el tramo de aproximación final. El servicio opcional de determinación de la posición GBAS permite operaciones PBN bidimensionales en áreas terminales. GBAS puede proporcionar correcciones para señales telemétricas GEO SBAS.

4.4.1.3 La infraestructura GBAS incluye antenas para recibir las señales de los satélites, así como equipo electrónico que puede instalarse en cualquier edificio apropiado del aeropuerto. A diferencia de ILS y el sistema de aterrizaje por microondas (MLS), el emplazamiento de la antena es relativamente independiente de la configuración de la pista, pero exige que se evalúen cuidadosamente las fuentes locales de interferencia, el bloqueo de señales, el área de protección del aeropuerto y los trayectos múltiples. El emplazamiento de la antena VDB debería asegurar que la zona de cobertura sea suficiente para las operaciones previstas.

4.4.1.4 Una instalación terrestre GBAS única puede proporcionar orientación para un máximo de 49 aproximaciones dentro de su cobertura VDB. En el Anexo 10, Volumen I, Adjunto D, sección 7, figura orientación sobre la atribución de aproximaciones múltiples.

4.4.1.5 El VDB de GBAS transmite polarización horizontal (GBAS/H) o elíptica (GBAS/E). La transmisión de GBAS/H se especifica mediante una norma. La transmisión de GBAS/E se especifica mediante un método recomendado. La mayoría de las aeronaves estarán equipadas con una antena de recepción VDB polarizada horizontalmente, que puede recibir señales GBAS/H y GBAS/E. Otras aeronaves, en particular ciertas aeronaves militares, estarán equipadas con una antena polarizada verticalmente y estarán limitadas al uso de equipo GBAS/E. Los proveedores de servicio GBAS deberían indicar, en la AIP del Estado, el tipo de polarización de antena VDB en cada una de sus instalaciones.

4.4.1.6 La trayectoria de aproximación final se define en el bloque de datos del tramo de aproximación final (FAS) transmitido que permite calcular la guía de desviación “semejante a ILS”. Dicho bloque se relaciona con un número de canal GBAS en la gama de 20 001 – 39 999 con una fórmula de establecimiento de canales que también da la referencia de la frecuencia VDB correspondiente. En el Anexo 10, Volumen I, Adjunto D, sección 7, figura orientación sobre asignación de canales.

4.4.1.7 A diferencia de ILS, GBAS puede proporcionar aproximaciones múltiples al mismo extremo de pista con un número de canal único que identifica a cada una de ellas. Dichas aproximaciones múltiples pueden tener ángulos de trayectoria de planeo diferentes o umbrales desplazados.

4.4.1.8 El enlace datos GBAS incluye el suministro de autenticación de la señal proporcionada por la estación terrestre GBAS. Esta capacidad es opcional para CAT I, pero será un requisito para CAT II/III.

4.4.2 Aviónica y operaciones GBAS

4.4.2.1 La expresión “receptor GBAS” designa la aviónica GNSS que satisface los requisitos mínimos para un receptor GBAS descritos en el Anexo 10 y las especificaciones pertinentes de los Estados, tales como RTCA/DO-253A, enmendadas por TSO C-161a/162a de la FAA.

4.4.2.2 Al igual que ILS y MLS, el receptor GBAS proporciona guía lateral y vertical respecto al curso y la trayectoria de planeo definidos para la aproximación final. El receptor utiliza un plan de disposición de canales que selecciona la frecuencia VDB e identifica el bloque de datos FAS específico que define la aproximación. Cada procedimiento distinto exige una asignación de canales diferente. Para una aproximación de precisión, el receptor GBAS utiliza únicamente satélites para los que existan correcciones.

4.4.2.3 Se han elaborado normas para la aviónica GBAS a fin de imitar ILS para simplificar la integración de GBAS con la aviónica existente. La escala de presentación y las salidas de desviación son equivalentes a ILS para reducir los requisitos de instrucción para la tripulación de vuelo. Toda aviónica proporcionará guía de curso y trayectoria de planeo de aproximación final a todas las configuraciones de estaciones terrestres.

4.4.2.4 Cuando se cuente con servicio GBAS de determinación de la posición, éste proporcionará datos de posición, velocidad y tiempo que pueden utilizarse como entrada para un navegador de a bordo o como fuente de información sobre posición para ADS-B. Si determinada estación terrestre o la aviónica no ofrecen este servicio, el receptor proporcionará información sobre posición, velocidad y tiempo de conformidad con los requisitos ABAS para PBN (véase la Tabla 4-2).

4.4.2.5 La expresión “sistema de aterrizaje GBAS” (GLS) se utiliza al establecer cartas de aproximaciones GBAS para el título de la carta (GLS RWY NN) y la línea de mínimos GBAS.

4.4.2.6 En el Anexo 10, Volumen I, Adjunto D, sección 7, figura una descripción más detallada de GBAS y los niveles de performance que proporciona.

4.4.2.7 De conformidad con los SARPS de la OACI y la estrategia de introducción y aplicación de ayudas no visuales para aproximación y aterrizaje, lo que permite una combinación de sistemas que proporcionan servicios de aproximación de precisión, la industria ha desarrollado el receptor multimodo (MMR) para operaciones de aproximación de precisión basadas en ILS, MLS, GBAS y tal vez SBAS.

Capítulo 5

VULNERABILIDAD DE GNSS

5.1 GENERALIDADES

5.1.1 Las señales GNSS procedentes de los satélites son muy débiles en la antena de recepción y son vulnerables a la interferencia. Los servicios proporcionados por ayudas convencionales pueden también ser interrumpidos por la interferencia; GNSS normalmente proporciona servicio a un mayor número de aeronaves simultáneamente y la interferencia puede afectar amplias áreas geográficas. Las señales GNSS pueden también ser afectadas por efectos ionosféricos.

5.1.2 Los receptores GNSS deben satisfacer requisitos de performance específicos en presencia de los niveles de interferencia definidos en el Anexo 10 y utilizados en las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Una interferencia superior a los niveles definidos puede causar degradación o pérdida del servicio, pero en las normas relativas a la aviónica se exige que dicha interferencia no dé lugar a información errónea peligrosa (HMI).

5.1.3 En las actuales aprobaciones GNSS se utiliza una sola banda de frecuencias común a GPS, GLONASS y SBAS. Debido a ello, es más fácil causar interferencia deliberada a las señales GNSS y la interferencia involuntaria es más probable. La próxima generación GNSS se basará en frecuencias múltiples, lo que reducirá la probabilidad de interferencia involuntaria y hará que sea más difícil la interferencia intencional. Sin embargo, los servicios mejorados que dependan de la disponibilidad de frecuencias múltiples quedarían afectados por la interferencia con una sola frecuencia.

5.1.4 GNSS proporciona información de tiempo precisa para las aplicaciones descritas en el Capítulo 1, 1.4.5. La mayoría de estas aplicaciones utilizan GNSS de manera no crítica; los receptores para fines cronológicos se utilizan con otros sistemas de distribución del tiempo y carecen de requisitos exigentes de precisión absoluta. Los sistemas pueden funcionar durante muy largos plazos con relojes de cuarzo internos antes de necesitar una actualización del tiempo GNSS. La multilateración constituye la excepción más notable por depender de manera crítica del tiempo GNSS.

5.1.5 Las autoridades estatales de reglamentación y los proveedores ANS pueden tomar las medidas descritas en el presente capítulo para reducir la probabilidad de que se pierda el servicio GNSS. Como se describe en el Capítulo 7, pueden evaluar el riesgo residual y elaborar estrategias para reducir las repercusiones en las operaciones de las aeronaves en caso de interrupción del servicio.

5.2 INTERFERENCIA INVOLUNTARIA

5.2.1 GPS y GLONASS han presentado solicitudes de autorización a la UIT para utilizar espectro atribuido al servicio de radionavegación por satélite (RNSS) en las bandas 1 559 – 1 610 MHz y 1 164 – 1 215 MHz. La atribución RNSS en estas bandas se comparte con el servicio de radionavegación aeronáutica (ARNS). Existen otras solicitudes en el marco de atribución RNSS para los GEO SBAS que operan en la banda de 1 559 – 1 610 MHz. VDB GBAS, así

como VDL-4, que son servicios móviles (R)¹ aeronáuticos (AMRS), utilizan la banda 108,025 – 117,975 MHz, compartida con ILS y VOR, que son ARNS. Se han presentado solicitudes a la UIT para GEO GPS, GLONASS y SBAS en la banda de 1 164 – 1 215 MHz, que está destinada a futuras aplicaciones de aviación civil. Se han presentado también a la UIT solicitudes para Galileo y BeiDou.

5.2.2 Existen diversas fuentes de interferencia posible para GNSS, procedente de emisores dentro y fuera de las bandas, incluidas comunicaciones VHF móviles y fijas, armónicas de estaciones de televisión, ciertos radares, comunicaciones móviles por satélite y sistemas militares. Constituye un problema particular el uso de la banda de 1 559 – 1 610 MHz por enlaces punto a punto por microondas, lo que ciertos Estados permiten. Se prevé la eliminación gradual del uso de dichos enlaces en 2015 a más tardar.

5.2.3 Una gestión eficaz del espectro constituye la principal manera de reducir la probabilidad de interferencia involuntaria o intencional con las señales GNSS. Esto abarca la adopción e imposición de reglamentos y leyes para controlar el uso del espectro y evaluar las aplicaciones cuidadosamente para nuevas atribuciones del espectro.

5.2.4 Muchos casos de interferencia con GNSS notificados se han vinculado con sistemas de a bordo, incluido equipo de comunicaciones VHF y por satélite y dispositivos electrónicos portátiles. Puede evitarse dicha interferencia instalando debidamente la aviónica GNSS (p. ej., blindaje, separación de antenas y utilización de filtros fuera de banda), aplicando integración con otros sistemas de aeronave y restricciones respecto al uso de dispositivos electrónicos portátiles.

5.2.5 Las señales GNSS adicionales en la banda de 1 164 – 1 215 MHz, que transmitirán los satélites principales de segunda generación, comparten la banda con DME y el sistema de navegación aérea táctica (TACAN) UHF. En las normas de la UIT se exige que DME y TACAN se protejan contra la interferencia. En los estudios de compatibilidad basados en la actual infraestructura DME/TACAN se concluyó que las repercusiones de la interferencia en el procesamiento de las señales del nuevo GNSS son tolerables. También se concluyó en dichos estudios que una elevada densidad de instalaciones DME/TACAN que operen en la banda del nuevo GNSS o cerca de la misma podrían dar lugar a interferencia con las señales GNSS a grandes altitudes. Los Estados deberían determinar si un aumento de la infraestructura DME/TACAN es compatible con el uso más amplio de GNSS y, de ser necesario, deberían modificar las asignaciones DME alejándose de las frecuencias GNSS.

5.3 INTERFERENCIA INTENCIONAL Y SIMULACIÓN

5.3.1 En una era en que esencialmente todas las ayudas para la navegación convencionales permanecen en servicio y cuando todas las aeronaves siguen siendo equipadas para utilizarlas, existe poca motivación para causar interferencia deliberada contra los servicios de aviación basados en GNSS. No obstante, a medida que aumenta la dependencia respecto a GNSS, podría aumentar la amenaza de interferencia intencional.

5.3.2 GNSS se utiliza en numerosas aplicaciones: financieras, de seguridad y seguimiento, transporte, agricultura, comunicaciones, predicción meteorológica, investigación científica, etc. Al analizar las amenazas debería considerarse la probabilidad de que la interferencia deliberada dirigida contra usuarios ajenos a la aviación podría afectar a las operaciones de las aeronaves. También deberían considerarse las atenuaciones instaladas por los proveedores de servicios ajenos a la aviación. La proliferación de equipo de interferencia deliberada para neutralizar los sistemas de seguimiento de vehículos constituye la principal preocupación.

5.3.3 La probabilidad de interferencia depende de factores como la densidad demográfica y la motivación de personas o grupos en una zona para perturbar los servicios de aviación o de otra índole. La probabilidad sería prácticamente nula en áreas oceánicas con poca población y más elevada cerca de los principales centros de población.

1. Ruta.

Al evaluar las repercusiones, deberían considerarse el tipo de espacio aéreo, los niveles de tráfico y la disponibilidad de servicios independientes de vigilancia y comunicaciones y tratarse los efectos en la seguridad operacional y la economía. Se necesitará atenuación cuando se considere que la perturbación es posible y que tendría repercusiones significativas.

5.3.4 Como se describe en el Capítulo 7, se recomienda mantener DME como parte de una estrategia de atenuación en caso de interrupción del servicio GNSS. Aunque DME comparte una banda de frecuencias con GNSS, su umbral de interferencia es mucho más elevado que el de GNSS, de modo que la interferencia en la banda común probablemente no lo afectaría. Además, es poco probable que la interferencia en esa banda afectara a todos los DME dentro del horizonte radioeléctrico de una aeronave.

5.3.5 La simulación es la transmisión de señales semejantes a GNSS debido a las cuales la aviónica calcula posiciones erróneas y proporciona guía falsa. Se considera que la simulación de GNSS es menos probable que la de las ayudas tradicionales porque es técnicamente mucho más compleja. Para evitar que se detecte inmediatamente, la simulación necesita información precisa sobre la posición de la aeronave objetivo. Es muy difícil vincular la señal simulada a la dinámica de un receptor objetivo y mantener suficiente fuerza de la señal para permitir que el receptor se mantenga vinculado a la señal simulada. Si la aviónica se mantuviese vinculada a la señal simulada, existen diversas maneras de detectar este hecho: la aviónica integrada podría anunciar discrepancias entre posiciones GNSS e IRS o DME-DME; los pilotos podrían observar desviaciones mediante vigilancia normal de los instrumentos y presentaciones; en un entorno radar, ATC podría observar desviaciones. Además, todas las demás aeronaves en la zona que estuviesen vinculadas a la señal simulada aparecerían con la misma posición que la aeronave objetivo. Si una aeronave se desviara de la derrota, los sistemas de advertencia de la proximidad del terreno (GPWS) y los sistemas anticolidión de a bordo (ACAS) proporcionarían protección contra el impacto contra el suelo y la colisión con otras aeronaves.

5.3.6 La simulación de la radiodifusión de datos GBAS es al menos tan difícil como la simulación de las ayudas convencionales para el aterrizaje. Se ha elaborado un plan de autenticación que hará que sea prácticamente imposible simular GBAS.

5.3.7 Los Estados deben evaluar y tratar el riesgo de interferencia intencional en su espacio aéreo. Si determinan que el riesgo es inaceptable en determinadas áreas, pueden adoptar una estrategia de atenuación eficaz como se describe en el Capítulo 7, 7.13.

5.4 REGLAMENTACIÓN DEL ESPECTRO

5.4.1 Los Estados deberían prohibir todas las acciones que puedan perturbar las señales GNSS y elaborar e imponer un sólido marco de reglamentación que rijan el uso de los radiadores intencionales en la banda, incluidos repetidores GNSS, seudosatélites, simuladores y equipo de interferencia deliberada. Se necesitan también medidas de reglamentación particulares respecto a los radiadores fuera de banda cuyas armónicas se relacionen con las bandas de frecuencias de GNSS, tales como ciertos canales de transmisión de televisión y otras aplicaciones industriales.

5.4.2 Los repetidores GNSS y seudosatélites son sistemas que transmiten señales como complemento a la cobertura GNSS en edificios y otras áreas donde las señales GNSS normales no pueden recibirse fácilmente. El equipo de prueba aeronáutico puede también actuar como generador de señales GNSS. Cuando dicho equipo no funcione de conformidad con condiciones específicas, puede causar interferencia a la aviónica GNSS y al equipo terrestre de los proveedores ANS. En algunos casos, esos sistemas pueden causar que los receptores GNSS dentro del radio de alcance calculen posiciones erróneas. Dichos casos deberían ser detectables porque existirían efectos tales como cambios de posición bruscos y evidentes.

5.4.3 El uso de repetidores GNSS y seudosatélites está reglamentado cuidadosamente por algunos Estados, mientras que muchos otros carecen de reglamentos al respecto. Para asegurar que dichos sistemas no perturben los

servicios basados en GNSS, los Estados deberían crear un marco de reglamentación para asegurarse de que tienen una aplicación válida y que su operación no es perjudicial para los principales usuarios existentes de GNSS. En el boletín electrónico EB 2011/56 *Interferencia con las señales del sistema mundial de navegación por satélite (GNSS)* de la OACI figura más amplia información y una lista de documentos que los Estados pueden utilizar como orientación al elaborar reglamentos.

5.4.4 Se ha determinado que los casos de interferencia perjudicial tienen su origen en equipo de interferencia deliberada de corto alcance en que se utiliza GNSS para eludir el cobro de derechos por el seguimiento de vehículos. El carácter móvil y el corto alcance de dicho equipo perturban las señales de manera intermitente, por lo que es difícil identificar y localizar la fuente. Los Estados deberían establecer reglamentos para impedir el uso de dispositivos de interferencia deliberada y simulación y reglamentar su importación, exportación, fabricación, venta, compra, posesión y uso. Algunos Estados prohíben todas las acciones que perturban las señales GNSS e imponen penas severas a la compra o uso de equipo de interferencia deliberada. Los Estados deberían adoptar medios para detectar las fuentes de interferencia en apoyo de los programas de cumplimiento.

5.4.5 Los Estados deberían tomar un mayor número de medidas preventivas para reducir la probabilidad de perturbación de GNSS para los usuarios dentro y fuera del sector de aviación. Esto podría incluir la aplicación de disposiciones relativas al carácter privado de los emplazamientos que sean aceptables para el público. De otro modo, el diseño de aplicaciones de cobro de derechos o seguimiento debería anticipar la interferencia e incluir mayor integración de sensores u otros mecanismos para impedir que la interferencia deliberada sencilla logre su objetivo. En la mayoría de los casos, esto puede lograrse mediante medidas sencillas.

5.4.6 El *Convenio sobre Aviación Civil Internacional* (Doc 7300) de la OACI y los reglamentos de la UIT protegen las frecuencias GNSS para uso aeronáutico. No obstante, existe una demanda significativa de espectro electromagnético para nuevas aplicaciones, tales como telefonía móvil y servicios de datos de banda ancha, que pueden emitir señales mucho más poderosas que las señales GNSS en el receptor. Los Estados no deberían atribuir espectro adyacente a las bandas GNSS a sistemas propuestos si existe cualquier posibilidad de que dichos sistemas causaran interferencia a los receptores GNSS ya instalados. Mientras que el futuro equipo GNSS de constelaciones y frecuencias múltiples para la aviación se diseñará para reforzar la resistencia a la interferencia en la mayor medida razonable posible, es importante que los nuevos servicios en el espectro no neutralicen dichas mejoras.

5.5 EFECTOS DE LA IONOSFERA Y LA ACTIVIDAD SOLAR

5.5.1 La ionosfera es una región de la atmósfera superior parcialmente ionizada. Las señales GNSS son objeto de demora por diversos períodos de tiempo según la densidad de las partículas ionizadas, lo que depende a su vez de la intensidad de la radiación solar y otras explosiones de energía solar. Los cambios rápidos y amplios de demora ionosférica constituyen un fenómeno que da lugar a errores telemétricos que deben corregirse mediante el diseño de sistemas. Las tormentas solares pueden causar centelleo ionosférico intenso que puede causar la pérdida temporal de las señales de uno o más satélites. La probabilidad de perturbación debida a centelleo dependerá del área geográfica y exigirá una evaluación científica. Los fenómenos ionosféricos tienen repercusiones poco importantes en las operaciones en ruta hasta NPA.

5.5.2 El tipo y la gravedad de los efectos ionosféricos varía con el nivel de actividad solar, la región del mundo y otros factores, tales como el período del año y la hora del día. Las raras tormentas solares pueden causar grandes variaciones en las demoras ionosféricas que pueden afectar a los receptores en una amplia zona. La actividad solar alcanza su nivel máximo cada once años.

5.5.3 Un centelleo intenso puede perturbar las señales de satélites, pero ocurre "en parches" y no afecta a amplias áreas de la ionosfera simultáneamente. Por consiguiente, generalmente afecta únicamente a unos pocos satélites visibles para una aeronave. Las pérdidas de seguimiento de la señal debido a centelleo tienen corta duración, pero pueden ocurrir repetidamente durante períodos de varias horas. Esto puede causar degradación o pérdida

temporal del servicio GNSS durante un período que depende de la capacidad del receptor de readquirir rápidamente una señal después del evento. El centelleo afecta a todas las frecuencias GNSS, de modo que los receptores de frecuencias múltiples no ofrecerán mayor protección. Además, si GNSS está integrado por múltiples constelaciones, permitirá al receptor seguir más satélites, reduciendo así la probabilidad de perturbación del servicio.

5.5.4 El centelleo es prácticamente inexistente en las latitudes medias, salvo a niveles bajos o moderados, lo que puede ocurrir durante raras tormentas ionosféricas fuertes. El centelleo intenso es relativamente común en regiones ecuatoriales, donde suele ocurrir después de la puesta del sol y antes de la medianoche local. El centelleo moderado ocurre a menudo en regiones de altas latitudes y puede alcanzar niveles fuertes durante tormentas ionosféricas.

5.5.5 En latitudes medias, las tormentas ionosféricas fuertes pueden a veces causar interrupciones del servicio APV de SBAS, pero en las regiones ecuatoriales dichas interrupciones serían mucho más frecuentes debido a la formación de amplias bandas de partículas ionizadas acumuladas situadas a unos 15° norte y sur del ecuador magnético. A menudo, unos volúmenes estrechos y alargados, llamados agotamiento (o burbujas), en que la densidad de las partículas ionizadas puede bajar a niveles inferiores a la de la ionosfera que la rodea, se forman en el centro de esas bandas poco tiempo después de la puesta de sol local y persisten tarde en la noche local. La combinación de estos fenómenos da lugar a importantes variaciones espaciales y temporales en la demora ionosférica y, por consiguiente, presenta una dificultad importante para integrar las correcciones ionosféricas SBAS. Por ello, no es práctico proporcionar un servicio APV SBAS con una sola frecuencia en regiones ecuatoriales.

5.5.6 Los receptores de GNSS básico utilizan un modelo ionosférico teórico simple y un pequeño conjunto de coeficientes transmitidos por los satélites GNSS para calcular correcciones ionosféricas. Se ha demostrado que esta técnica reduce los errores de pseudodistancia debidos a demoras ionosféricas con un factor aproximativo de dos. SBAS reduce estos errores a unos pocos metros y asegura la integridad de las correcciones. También puede detectar los efectos de las tormentas ionosféricas que podrían amenazar la integridad de las correcciones transmitidas y asegurar que las operaciones APV no continúen cuando el sistema no pueda compensar dichos efectos.

5.5.7 GBAS transmite correcciones de pseudodistancias teniendo en cuenta todas las fuentes de errores, así como información de integridad que es eficaz aun cuando la ionosfera local esté muy perturbada. El servicio GBAS podría, sin embargo, perderse si un centelleo intenso hiciera que la aviónica o la estación GBAS perdiera el vínculo con suficientes señales de satélites. VDB GBAS no queda afectado por las condiciones ionosféricas. El modelo de amenaza ionosférica utilizado por los monitores de integridad GBAS debe, no obstante, ajustarse a las condiciones locales, que pueden reducir la disponibilidad del servicio o causar más limitaciones de emplazamiento en regiones ecuatoriales que en latitudes medias. Los sistemas GBAS con frecuencia doble podrían compensar los efectos de las demoras ionosféricas, permitiendo lograr mejores resultados con menos limitaciones.

5.5.8 El Sol también tiene un efecto directo en GNSS. Las perturbaciones en su corona pueden crear explosiones radioeléctricas que pueden causar un aumento en el nivel de ruido RF en las bandas de frecuencias GNSS, afectando así la recepción de las señales de todos los satélites visibles en la parte iluminada de la Tierra. En algunos casos raros, la intensidad y la banda de frecuencias de una explosión radioeléctrica solar puede hacer que los receptores GNSS pierdan temporalmente todas las señales de satélites. La experiencia ha indicado que estos sucesos pueden durar hasta una hora. La vulnerabilidad de los receptores a dichos sucesos depende en gran medida de su diseño. Aunque se ha observado que los receptores geodésicos pierden todas las señales durante varios minutos, hasta ahora no se han detectado repercusiones significativas en los receptores de aviación.

Capítulo 6

EVOLUCIÓN DE GNSS

6.1 GENERALIDADES

6.1.1 GNSS progresará al mejorarse los elementos existentes y crearse nuevos elementos y señales (véase el Apéndice C). Esto mejorará la performance de GNSS, pero también introducirá complejidad técnica que deberá ser objeto de gestión eficaz para lograr beneficios operacionales.

6.1.2 El análisis de rentabilidad constituye el elemento clave para la aceptación por los explotadores de aeronaves: el valor de los beneficios operacionales adicionales debe ser superior al costo de la nueva aviónica y su participación en el costo de la infraestructura GNSS. GPS, GLONASS, ABAS, SBAS y GBAS, así como ADS-B y ADS-C, ya proporcionan beneficios considerables a los explotadores de aeronaves. No es evidente que cada nuevo avance técnico proporcionará beneficios adicionales seguros. Será necesario cuantificar estos últimos antes de tomar la decisión de emprender el desarrollo y la implantación.

6.1.3 Si las cuestiones relacionadas con la evolución de GNSS se tratan de manera apropiada y los explotadores de aeronaves están satisfechos del análisis de rentabilidad, la introducción de nuevas constelaciones y señales adicionales resolverá algunos de los problemas técnicos e institucionales y proporcionará beneficios operacionales. La experiencia ha indicado que a menudo se subestima el tiempo necesario para refinar un concepto técnico, elaborar normas y desarrollar sistemas certificados. Los proveedores ANS de los Estados deberían proceder con PBN y ADS-B basándose en los elementos GNSS existentes en lugar de esperar sistemas de la nueva generación. Esto proporcionará ventajas significativas en materia de seguridad operacional y eficiencia y constituirá la base para beneficios adicionales en el futuro.

6.2 GNSS CON CONSTELACIONES Y FRECUENCIAS MÚLTIPLES

6.2.1 Los servicios actuales basados en GNSS dependen de GPS en gran medida, y proporcionan servicios en una sola frecuencia. Sin embargo, GLONASS ya está en operación y la instalación de BeiDou y Galileo está en curso. A la larga, todas las constelaciones funcionarán en bandas de frecuencias múltiples. Se prevén desarrollos al respecto en el campo de los sistemas de aumentación GNSS.

6.2.2 El uso de señales GNSS procedentes de constelaciones múltiples que transmiten en bandas de frecuencias múltiples aumenta la eficacia técnica de GNSS. El uso de señales combinadas procedentes de sistemas independientes aumentará la eficacia y cobertura del servicio. Además, la combinación de las señales aumenta la eficacia y permitirá que GNSS satisfaga los requisitos de performance en los casos de interferencia o cuando falla uno de los sistemas.

6.2.3 Cada una de las nuevas señales GNSS será más resistente a la interferencia debido a mayor potencia, más amplia anchura de banda y mejor diseño de señales, lo que reforzará la capacidad de eliminación de la interferencia. Todas las señales destinadas a aplicaciones de seguridad de la vida deberían beneficiarse de la protección proporcionada mediante la atribución de la UIT dentro de las bandas ARNS.

6.2.4 La eficacia de GNSS depende del número de satélites visibles. GNSS con constelaciones múltiples aumentará considerablemente su número. Esto mejorará la disponibilidad y continuidad del servicio, particularmente en zonas donde el centelleo ionosférico puede causar la pérdida de vínculo con determinados satélites. Además, la disponibilidad de más de 30 fuentes de telemetría interoperables podría permitir que ABAS proporcione, en todo el mundo, aproximaciones con guía vertical con señales mínimas de aumentación externa a largo plazo o posiblemente sin ellas.

6.2.5 La disponibilidad de una segunda frecuencia permitirá que la aviónica calcule la demora ionosférica en tiempo real, eliminando efectivamente una importante fuente de errores. Los futuros sistemas SBAS podrán proporcionar una disponibilidad de servicio APV de casi el 100% con mínimos tan bajos como 60 m (200 ft), aun en regiones ecuatoriales. Además, como se describe en 5.1.3, la diversificación de frecuencias constituye una atenuación muy eficaz contra la interferencia involuntaria, dado que es realmente poco probable que una fuente de interferencia involuntaria pueda afectar simultáneamente a más de una frecuencia GNSS.

6.2.6 La disponibilidad de múltiples constelaciones independientes proporcionará redundancia para atenuar el riesgo de pérdida del servicio debido a una falla importante del sistema dentro de una constelación principal y responderá a las inquietudes de algunos Estados acerca de la dependencia de una constelación GNSS única fuera de su control operacional.

6.3 ELABORACIÓN DE NORMAS

6.3.1 A medida que se añadan elementos GNSS, será necesario elaborar SARPS de la OACI o normas de la industria relativos a nuevos elementos y combinaciones de los mismos, teniendo en cuenta al mismo tiempo factores técnicos, operacionales y económicos. Al seleccionar combinaciones, deberán tomarse en cuenta los beneficios adicionales desde el punto de vista de los explotadores de aeronaves y proveedores ANS. Si bien el concepto PBN hace posibles diversas soluciones técnicas para satisfacer especificaciones de performance, la existencia de un número inferior de soluciones es más económica porque un mayor número de explotadores puede compartir los costos de certificación. Esto también exige menos tiempo, porque cada una de las autoridades de aviación civil no tendrá que dedicar recursos a la evaluación de diversas opciones técnicas.

6.3.2 La introducción de GNSS con constelaciones y frecuencias múltiples acarrea varios nuevos retos, incluidos los siguientes: necesidad de que las señales procedentes de constelaciones GNSS diferentes sean interoperables; preocupaciones relativas a la responsabilidad de orden jurídico; función más compleja de los sistemas de aumentación que tengan que funcionar posiblemente con combinaciones diferentes de constelaciones GNSS; y mayor complejidad de la integración y control operacional de aviónica y aeronaves. Para lograr beneficios en el contexto de constelaciones múltiples, la OACI, los Estados, los proveedores ANS, los organismos de normalización, los fabricantes y los explotadores de aeronaves deberán coordinar sus actividades para vencer dichos retos. La experiencia ha demostrado la necesidad de concentrarse en la reglamentación y vigilancia de la seguridad operacional, dado que la falta de claridad en estos procedimientos frena el progreso.

6.3.3 El mecanismo de evolución de GNSS debería conservar la retrocompatibilidad, de modo que los explotadores de aeronaves no tengan que incurrir en costos excesivos y en dificultades de orden operacional.

6.4 ASPECTOS INSTITUCIONALES

6.4.1 La aviónica GNSS actual selecciona automáticamente las señales de satélites y de aumentación. El concepto PBN brinda a los fabricantes de aeronaves y aviónica la libertad de desarrollar soluciones eficaces para soportes físicos y lógicos que satisfagan los requisitos del espacio aéreo. Al planificar la implantación de servicios GNSS, los Estados deberían evitar requisitos o limitaciones basados en las instituciones respecto al uso de elementos

GNSS específicos. Dichos requisitos y limitaciones aumentarían la complejidad de la aviónica, dando lugar a costos más elevados de fabricación, mantenimiento e instrucción. Además, una interfaz de aviónica compleja aumentaría la carga de trabajo de la tripulación de vuelo y crearía riesgos respecto a la seguridad operacional. El objetivo final consiste en establecer un marco institucional y jurídico que permita utilizar cualquier elemento GNSS sin restricciones. Hasta ese momento, la OACI y la industria de la aviación tendrán que elaborar soluciones pragmáticas que permitan introducir gradualmente GNSS con constelaciones múltiples.

6.5 EVOLUCIÓN DE LA CONSTELACIÓN PRINCIPAL

6.5.1 Evolución de GPS

6.5.1.1 GPS está evolucionando para satisfacer las necesidades de los usuarios civiles haciendo que el sistema sea más robusto, aumentando su disponibilidad y posiblemente incluyendo características que reducen la complejidad de las aumentaciones GPS.

6.5.1.2 L1C será una señal de uso civil que se transmitirá en la frecuencia L1 (1 575,42 MHz) que actualmente contiene la señal codificada utilizada por todos los usuarios de GPS, de modo que será retrocompatible. La señal L1C se ofrecerá al lanzarse el primer Bloque III, actualmente previsto para 2014. Tendrá mayor potencia y otras características para mejorar el seguimiento por los receptores y permitirá mayor compatibilidad con Galileo. Se prevé contar con 24 satélites operacionales con L1C alrededor de 2021.

6.5.1.3 Se está añadiendo en 1 176,45 MHz otra señal (L5) que puede satisfacer los requisitos de seguridad operacional de la aviación civil. La señal L5 es más robusta que la actual L1 y se está instalando en los satélites Bloque IIF; la primera fue lanzada en 2010. Se prevé transmitir la señal L5 a partir de 24 satélites GPS en 2018.

6.5.1.4 Si bien L2 (1 227,60 MHz) actualmente no constituye parte de SPS de GPS, numerosos usuarios civiles, incluidos los proveedores SBAS, utilizan receptores de doble frecuencia total o parcialmente sin código, para satisfacer sus requisitos. Se ha añadido una señal codificada a la frecuencia L2 de GPS (L2C en 1 227,60 MHz). L2 no se encuentra en una banda protegida para la aviación, de manera que no se utilizará directamente para sus aplicaciones. Los usuarios, incluidos los proveedores SBAS, que dependen del acceso a L2 total o parcialmente sin código tendrán que pasar a L2C o L5 antes de 2021. Se prevé transmitir la señal L2C a partir de 24 satélites GPS en 2016.

6.5.1.5 El programa GPS III incluirá satélites con señales L1, L2 y L5 mejoradas que satisfarán los requisitos civiles y militares para los próximos 30 años. Se prevé una plena transición a GPS III después de 2030. Entre los retos que se están afrontando cabe señalar: representar los requisitos de los usuarios civiles y militares de GPS; vincular los requisitos de GPS III con objetivos operacionales; proporcionar flexibilidad que permita futuros cambios a fin de satisfacer los requisitos de los usuarios hasta 2030; y proporcionar resistencia debido a la dependencia creciente de una determinación de la posición y un tiempo precisos, como servicio público internacional.

6.5.2 Evolución de GLONASS

6.5.2.1 En el programa de la Federación de Rusia a largo plazo (hasta 2020) para desarrollar y modernizar GLONASS, se prevé mejorar los segmentos espacial y de control.

6.5.2.2 La actual constelación GLONASS consiste en satélites GLONASS-M con una vida útil de siete años y características técnicas mejoradas.

6.5.2.3 En la modernización siguiente se prevé desarrollar satélites GLONASS-K con mayor precisión y una vida útil superior a diez años que transmitirá señales precisas normalizadas para usuarios civiles en las bandas L1 (1 559 – 1 610 MHz) y L3 (1 164 – 1 215 MHz).

6.5.2.4 Los satélites GLONASS-K transmitirán, junto con las señales de navegación CSA en la banda L1 (FDMA), nuevas señales de navegación CDMA en las bandas L1 y L3. En la modernización siguiente de GLONASS-K se introducirá la capacidad de recibir y retransmitir señales de socorro del sistema mundial COSPAS-SARSAT de búsqueda y salvamento con la ayuda de satélites.

6.6 NUEVAS CONSTELACIONES PRINCIPALES PREVISTAS

6.6.1 Galileo

6.6.1.1 Galileo es un sistema de radionavegación basado en satélites que utiliza mediciones telemétricas precisas de los satélites Galileo para determinar la posición y el tiempo en cualquier lugar del mundo. El sistema se utiliza en nombre de la Unión Europea.

6.6.1.2 El sistema Galileo plenamente implantado (previsto para 2019-2020) consistirá en una constelación de 30 satélites en órbita terrena media (MEO) en tres planos orbitales (27 satélites operacionales, más tres de reserva), así como centros de control en Europa y una red de sensores y estaciones de enlace ascendente instaladas en todo el mundo.

6.6.1.3 Las señales mundiales de Galileo ofrecerán servicios abiertos y comerciales, reglamentados públicamente. Galileo proporcionará también un servicio de búsqueda y salvamento (SAR) compatible con COSPAS-SARSAT. Las señales del servicio abierto, para aplicaciones de aviación en combinación con sistemas de aumentación normalizados, ofrecen tres frecuencias: 1 575,420 MHz, 1 191,795 MHz y 1 176,450 MHz, conocidas como E1, E5b y E5a, respectivamente.

6.6.1.4 Se prevé proporcionar capacidades tempranas de los servicios abiertos reglamentados públicamente y SAR a partir de 2014, cuando se cuente con suficientes satélites. Las capacidades del servicio se desarrollarán gradualmente entonces hasta alcanzar su plena performance a medida que la creación de la constelación alcance su etapa final.

6.6.1.5 Se prevé ofrecer el servicio abierto Galileo para uso de la comunidad de aviación una vez que se haya alcanzado un régimen estable de suministro.

6.6.1.6 En el programa de trabajo del Grupo de expertos sobre sistemas de navegación (NSP), de la OACI, figura la elaboración de SARPS para Galileo mediante un método gradual que corresponda al plan de implantación del servicio previsto para Galileo.

6.6.1.7 Aunque sea completamente independiente, Galileo es compatible e interoperable con GPS y GLONASS.

6.6.2 Sistema BeiDou de navegación por satélite

6.6.2.1 China empezó a proporcionar servicios de navegación por satélite, para fines de demostración, con el sistema de navegación BeiDou, sistema regional experimental integrado por tres satélites GEO; el primero fue lanzado en 2000 y el sistema se finalizó en 2003. Este sistema no se ha diseñado para servir a la aviación civil; proporciona servicios regionales fundamentales, incluida la determinación de la posición, la navegación, el tiempo y las comunicaciones de mensajes cortos.

6.6.2.2 El sistema BeiDou de navegación por satélite funcionará de manera similar a Galileo y la generación siguiente de GPS y utilizará las mismas bandas de frecuencias y estructura de señales. Proporcionará cobertura mundial con una constelación de 35 satélites, incluidos cinco satélites GEO y 30 que no son GEO [tres órbitas geosíncronas inclinadas (IGSO) y 27 órbitas terrenas medias]. El 27 de diciembre de 2011, China anunció oficialmente que el sistema BeiDou empezó a proporcionar servicio operacional inicial. Al igual que GPS y Galileo, este sistema proporcionará servicios abiertos y servicios autorizados.

6.6.2.3 BeiDou se implantará por etapas: cubrirá la Región Asia-Pacífico a finales de 2012 y alcanzará cobertura mundial alrededor de 2020.

6.6.2.4 El sistema de tiempo BeiDou (BDT) se ajusta a UTC y está sincronizado con el mismo dentro de 100 nanosegundos. Para asegurar el interfuncionamiento, se medirá y transmitirá la diferencia de tiempo entre BDT y GPS/Galileo.

6.6.2.5 El sistema de coordenadas de BeiDou utiliza el sistema geodésico 2000 de China (CGS2000), coincidiendo con el marco de referencia terrestre internacional (ITRF) dentro de unos cuantos centímetros. Para la mayoría de las aplicaciones, la diferencia entre CGS2000 e ITRF es insignificante.

6.6.2.6 BeiDou ofrecerá dos servicios mundiales: Servicio abierto, gratuito y al alcance de los usuarios; Servicio autorizado que brinda gran fiabilidad aun en situaciones complejas. Además, se prevé proporcionar dos categorías de servicios regionales: servicio diferencial de área amplia y servicio de mensajes cortos.

6.6.2.7 El 27 de diciembre de 2011 se publicó información adicional acerca de BeiDou, incluido el documento de control de interfaz (ICD) de la señal en el espacio (SIS) de BeiDou (versión de prueba). El documento finalizado y sus actualizaciones se publicarán gradualmente en el sitio web gubernamental de BeiDou: www.beidou.gov.cn.

6.7 EVOLUCIÓN DE ABAS

6.7.1 La disponibilidad de constelaciones múltiples y la diversidad de frecuencias permitirán desarrollar RAIM avanzado (ARAIM) que podría ofrecer gran disponibilidad en ruta hasta NPA y también APV en el mundo entero. Las investigaciones ARAIM determinan la necesidad de refrescar la constelación principal de satélites y los parámetros de fiabilidad de estos últimos, o los mensajes de apoyo de la integridad ARAIM, cada hora, lo que exigirá una señal de aumentación. Las constelaciones principales podrán transmitir los mensajes de apoyo de integridad ARAIM mediante un canal de datos de integridad o mediante SBAS. Los algoritmos de vigilancia de ARAIM podrían detectar fallas bruscas de los satélites y proteger al usuario, excluyendo a los satélites deficientes de los cálculos de posición del usuario. Este concepto exige mayor investigación, desarrollo y validación, pero podría simplificar los requisitos de integridad para las constelaciones principales o los sistemas SBAS a largo plazo. Se necesitarían por lo menos dos constelaciones principales para lograr el servicio APV basado en ARAIM.

6.8 EVOLUCIÓN DE SBAS

6.8.1 Algunos de los actuales GEO de SBAS y todos los que están previstos incluyen una señal telemétrica en L5 y L1. El desarrollo de SBAS de doble frecuencia y la aviónica correspondiente traerán ventajas técnicas significativas.

6.8.2 La evolución de SBAS podría también incluir la aumentación de constelaciones GNSS múltiples, con la posibilidad de permitir aproximaciones CAT II. Dado que la demora ionosférica depende de la frecuencia, cuando no haya centelleo la aviónica de doble frecuencia hará la corrección exigida por la demora. Esto eliminaría la necesidad de transmitir puntos de cuadrícula ionosféricos, valores de las demoras y estimaciones de error. Será entonces posible ampliar el servicio APV a Estados en la región ecuatorial.

6.9 EVOLUCIÓN DE GBAS

6.9.1 El GBAS especificado actualmente en el Anexo 10 se basa en una sola banda de frecuencias y proporciona servicio de aproximación CAT I. La Federación de Rusia ha desarrollado prototipos de sistemas que procesan señales GLONASS y GPS para aproximaciones GBAS.

6.9.2 La evolución de GBAS se iniciará con una ampliación de las normas para permitir operaciones con mínimos más bajos, que abarcarán al final CAT IIIB. La primera etapa consiste en implantar diversos tipos de servicio para asegurar la compatibilidad de los futuros servicios con la aviónica GBAS establecida. Entre los nuevos requisitos figurará la vigilancia mejorada en la estación terrestre y la aviónica para satisfacer los requisitos de integridad de CAT IIIB. Se ha elaborado una enmienda de SARPS en que se introduce un nuevo tipo de servicio de aproximación GBAS (GAST) destinado a operaciones CAT II/III; dicha enmienda es objeto actualmente de validación operacional.

6.9.3 La etapa siguiente en la evolución de GBAS consistirá en ampliar el sistema para aprovechar las frecuencias y constelaciones múltiples. El uso de frecuencias múltiples permitirá una vigilancia más eficaz y la detección de errores causados por anomalías ionosféricas. El uso de constelaciones múltiples aumentará la disponibilidad de geometrías apropiadas que se necesitan para operaciones CAT II/III y para atenuar los errores comunes de modo.

6.9.4 Esta evolución permitirá una variedad de capacidades operacionales mejoradas, tales como: guía y control del movimiento en la superficie; vigilancia en la superficie respecto a la conciencia de la situación o la detección y alerta de conflictos; guía para salidas con visibilidad limitada; procedimientos de salidas guiadas, trayectorias de aproximación complejas y aproximaciones CAT I y CAT II hasta mínimos inferiores a los normalizados. Los actuales SARPS relativos a GBAS abarcan algunas de estas capacidades, pero las innovaciones de la evolución del sistema podrían facilitar su introducción.

Capítulo 7

IMPLANTACIÓN DE SERVICIOS BASADOS EN GNSS

7.1 GENERALIDADES

7.1.1 El crecimiento de la aviación y la urgente necesidad de reducir el consumo de combustible y las emisiones exige mayor capacidad del espacio aéreo y los aeropuertos y medidas eficaces para proporcionar la trayectoria preferida (ruta y altitud) a cada aeronave. Además, los explotadores de aeronaves exigen mayor eficiencia mediante aproximaciones con los mínimos más bajos posibles y las ventajas significativas de la guía vertical para la seguridad operacional. En realidad, el impacto contra el terreno sin pérdida de control (CFIT), en ausencia de guía vertical, sigue siendo una categoría frecuente de accidentes, al menos para algunos sectores de la comunidad de aviación. Otro objetivo importante consiste en reducir los efectos del ruido de los aeropuertos en las zonas habitadas. Los servicios basados en GNSS pueden lograr estos objetivos y han proporcionado a los explotadores de aeronaves ventajas significativas en materia de seguridad operacional y eficiencia. El *Manual de navegación basada en la performance (PBN)* (Doc 9613) contiene la orientación necesaria para implantar servicios de navegación basados en GNSS.

7.1.2 Las operaciones basadas en GNSS fueron aprobadas por primera vez en 1993 en varios Estados. Numerosos otros han elaborado el marco jurídico para dichos servicios, pero las aproximaciones basadas en GNSS aún no se han aprobado a escala mundial. Se recomienda que los Estados sigan el ejemplo de numerosas autoridades de aviación para permitir el uso de servicios basados en GNSS. Cuando esto no se considere posible en la actualidad, se alienta a los Estados interesados a establecer un conjunto de condiciones previas o requisitos en cuyo marco el uso de servicios basados en GNSS podría llegar a ser aceptable.

7.1.3 El objetivo final es la transición a servicios basados en GNSS en la medida en que pueda demostrarse que se trata de la solución más económica basada en análisis de seguridad operacional y seguridad de la aviación. Sin embargo, debido a la vulnerabilidad de las señales GNSS, algunas ayudas terrestres (p. ej., DME e ILS) seguirán siendo necesarias para el futuro previsible.

7.2 PLANIFICACIÓN DE LA IMPLANTACIÓN INTERNACIONAL

7.2.1 La base para desarrollar un sistema ATM mundial sin discontinuidades consiste en aplicar una estructura convenida de áreas ATM homogéneas y principales movimientos de tránsito. Esto exige que los Estados cooperen para evaluar la población y capacidad actuales y previsibles de las aeronaves, el tráfico previsto y la infraestructura ATM, incluidos la disponibilidad y requisitos de personal. Los Estados podrán entonces determinar las deficiencias de rendimiento y planificar servicios mejorados que permitirían alcanzar los objetivos de rendimiento del GANP.

7.2.2 Para adoptar decisiones apropiadas sobre la implantación de GNSS, se exhorta a los Estados a que aprovechen la experiencia, conocimientos técnicos e información disponibles en los PIRG de la OACI y sus subgrupos. La OACI tiene el mandato de contribuir a dicho mecanismo en la forma siguiente:

- a) asegurar la coordinación regional e interregional por intermedio de los grupos regionales de planificación;
- b) proporcionar un foro para intercambio de conocimientos técnicos e información entre Estados y organizaciones internacionales; y

- c) determinar las necesidades de asistencia técnica en la región y tomar medidas para proporcionar dicha asistencia.

7.2.3 Los Estados deberían tratar de coordinar a nivel bilateral y multilateral los aspectos detallados no previstos en el marco de la OACI.

7.3 ELABORACIÓN DE UN CONCEPTO DE OPERACIONES (CONOPS)

7.3.1 La etapa que sigue a la decisión de implantar un servicio basado en GNSS debería ser la elaboración de un concepto de operaciones (CONOPS). Todas las partes interesadas a nivel nacional y regional deberían participar en esta tarea que debe empezar con una descripción de alto nivel del servicio y la tecnología facilitadora. CONOPS es una descripción de las características del servicio desde el punto de vista de los usuarios (tripulación de vuelo y controladores de tránsito aéreo). En el CONOPS deberían enunciarse las metas, estrategias, políticas y limitaciones que afectan al servicio. Deberían indicarse las organizaciones, actividades e interacciones entre participantes y partes interesadas, incluida una clara declaración de responsabilidades. Debería apoyar la elaboración del análisis de seguridad operacional, análisis de rentabilidad y reglamentos. Una vez alcanzado el acuerdo sobre la validez del análisis de seguridad operacional y el análisis de rentabilidad, el proveedor ANS puede elaborar un plan de implantación completo.

7.3.2 El análisis de rentabilidad será el elemento clave para la decisión relativa a la implantación, de modo que debería concentrarse en definir y cuantificar los costos y beneficios operacionales y lograr que todas las partes interesadas, particularmente los explotadores de aeronaves, convengan en que el análisis es válido. En el caso de las operaciones en ruta y en área terminal, el nivel de equipamiento de aviónica determina los beneficios. Mientras el diseño del espacio aéreo debe satisfacer aeronaves equipadas y no equipadas, los beneficios serán limitados. Esto no se aplica a las operaciones de aproximación, para las cuales las aeronaves dotadas de equipo obtendrán los plenos beneficios de mínimos inferiores.

7.3.3 La evaluación de la seguridad operacional empieza en la primera etapa de elaboración de CONOPS; los peligros y riesgos determinados en cada fase tendrán que atenuarse en etapas posteriores ajustando el CONOPS. Éste alcanzará un punto en que las simulaciones y pruebas del concepto pueden utilizarse para validar las hipótesis, cuantificar los beneficios y costos y determinar las medidas de atenuación del riesgo para la seguridad operacional.

7.3.4 Al elaborar un CONOPS, los Estados o las entidades regionales deben considerar los elementos siguientes, algunos de los cuales se describen en el presente capítulo:

- a) movimientos y volúmenes de tránsito actuales y previstos a nivel regional y estatal, descritos en los planes regionales;
- b) requisitos enunciados de los explotadores de aeronaves y composición de su flota y equipamiento de aviónica actuales y previstos;
- c) planes de los Estados en la región;
- d) análisis de rentabilidad;
- e) evaluación de la seguridad operacional del sistema;
- f) certificación y aprobaciones operacionales;
- g) instrucción del personal del proveedor ANS y las tripulaciones de vuelo;

- h) planificación del espacio aéreo y elaboración de procedimientos;
- i) gestión del tránsito aéreo, teniendo en cuenta el espacio aéreo ATC, incluidas normas y procedimientos ATC y sistemas de automatización;
- j) servicios de información aeronáutica, incluida la notificación de fallas del sistema;
- k) vulnerabilidad de la señal GNSS y notificación de anomalías e interferencia;
- l) efectos en el medio ambiente, incluidas emisiones y ruido; y
- m) planificación de la transición.

7.3.5 Los Estados deberían incluir participantes de los grupos siguientes para examinar los elementos mencionados y elaborar un CONOPS válido que pueda guiar la toma de decisiones y la planificación:

- a) explotadores de aeronaves — personal de nivel superior que pueda evaluar los beneficios y validar el análisis de rentabilidad;
- b) operaciones de aeronaves — personal de las operaciones de vuelo y la instrucción de la tripulación de vuelo en las líneas aéreas, aviación de negocios y aviación general que puedan validar los procedimientos operacionales y la evaluación de la seguridad operacional;
- c) servicios de tránsito aéreo — personal responsable del diseño del espacio aéreo, procedimientos ATC e instrucción de controladores;
- d) normas de aeronavegabilidad — personal responsable de la aprobación de aviónica e instalaciones;
- e) normas de aviación — personal responsable de elaborar criterios para el diseño de espacio aéreo y procedimientos de aproximación por instrumentos, etc.;
- f) servicio de información aeronáutica (AIS) — personal que participa en estudios, AIS y bases de datos de navegación, diseño de procedimientos, NOTAM, etc.;
- g) reglamentación — personal responsable de aprobaciones operacionales y de otra índole, requisitos de instrucción de la tripulación de vuelo y procedimientos de vuelo a fin de anticipar las dificultades de reglamentación, dado que la elaboración de CONOPS normalmente no constituye una actividad reglamentada;
- h) explotadores de aeródromos — personal responsable de desarrollar infraestructura de aeródromo para operaciones de aproximación;
- i) servicios técnicos — personal responsable de diseñar sistemas CNS/ATM (comunicaciones, navegación y vigilancia/gestión del tránsito aéreo) y el equipo correspondiente, incluida la aviónica;
- j) representantes del sector militar;
- k) funcionarios de aviación civil de los Estados en la región y funcionarios de la OACI; y
- l) otros grupos de partes interesadas, incluidos sindicatos y otros usuarios de GNSS.

7.3.6 Un objetivo común de las autoridades de reglamentación y los proveedores ANS consiste en asegurar normas elevadas de seguridad operacional proporcionando al mismo tiempo a los explotadores de aeronaves las

ventajas de la tecnología GNSS de manera oportuna y efectiva. Esto exige cooperación para la elaboración de normas, sistemas, espacio aéreo y procedimientos, así como las condiciones para las aprobaciones de reglamentación que respondan a las necesidades de la comunidad de aviación. Esto se aplica sea que el proveedor ANS es una entidad estatal o una empresa privada. Las organizaciones de reglamentación y de proveedores ANS deberán atribuir recursos a tareas concretas, como se describe en el Apéndice B.

7.4 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

7.4.1 Introducción

7.4.1.1 Antes de implantar un nuevo servicio de navegación aérea es necesario elaborar una declaración de repercusiones en que se detallen los costos para los explotadores de aeronaves y proveedores ANS. Los beneficios de un servicio basado en GNSS sólo se alcanzarán si los explotadores de aeronaves se equipan de la aviónica requerida, lo que decidirán hacer únicamente cuando estén convencidos de que los beneficios adicionales del servicio propuesto son superiores a los costos adicionales. Equipar una flota de aeronaves con nueva aviónica es muy costoso y puede tomar años; los explotadores generalmente tratan de lograr un rápido rendimiento de la inversión. La experiencia ha indicado que los explotadores de aeronaves con una flota de aeronaves antiguas a menudo deciden esperar hasta la adquisición de aeronaves nuevas. En el análisis debe tenerse en cuenta un período de transición durante el cual los beneficios aumentarán gradualmente hasta que todas las aeronaves estén dotadas de equipo. Por dichos motivos, los proveedores ANS deben coordinar la elaboración de análisis de rentabilidad completos con los explotadores de aeronaves, considerando todos los costos y beneficios determinados por los participantes en la elaboración del CONOPS. El análisis de rentabilidad será fiable únicamente si lo es el correspondiente CONOPS, lo que exigirá simulación y pruebas para satisfacer a los participantes.

7.4.1.2 Además de los costos de adquisición de sistemas, operaciones y mantenimiento, los proveedores ANS deben financiar la implantación operacional para incluir la elaboración de procedimientos, la instrucción, posiblemente participando en el costo de desarrollo, integración y aprobación operacional de la aviónica. Los proveedores ANS deben proporcionar un incentivo para el equipamiento diseñando espacio aéreo y procedimientos que proporcionen beneficios operacionales.

7.4.1.3 En algunos casos, unos beneficios no cuantificables (p. ej., en una comunidad que depende completamente de la aviación para suministros y evacuación médica) determinarán la decisión relativa a la implantación.

7.4.1.4 En el análisis deberían considerarse elementos como la recuperación de costos, las políticas relativas a ingresos y costos adicionales durante el período de transición. Sin embargo, la experiencia ha indicado que cuando la recuperación de costos se vincula a un servicio en particular, los explotadores de aeronaves son reticentes a apoyar un CONOPS y no equiparán estas últimas con la aviónica requerida. Es más probable que lo hagan si el servicio no está sujeto a gravámenes y derechos específicos. En los casos en que el Estado es el proveedor ANS, deberían considerarse, en el análisis de rentabilidad, los beneficios para otros sectores de la economía.

7.4.1.5 En el Apéndice A figuran algunas referencias de la OACI relativas a la elaboración de un análisis de rentabilidad.

7.4.2 Elementos de costos comunes – GNSS básico, GBAS y SBAS

7.4.2.1 Los costos siguientes, asumidos por los proveedores ANS, son comunes a los servicios GNSS básico, GBAS y SBAS: norma relativa a mediciones según el Sistema Geodésico Mundial – 1984 (WGS-84); elaboración de procedimientos sobre espacio aéreo y aproximaciones por instrumentos; realización de verificaciones en vuelo; elaboración de procedimientos y fraseología para ATC; elaboración y difusión de material didáctico; elaboración de un

sistema de notificación/NOTAM; preparación de documentos de aprobación e información para la comunidad de aviación; y financiación de los costos anuales relacionados con el mantenimiento del suministro de servicio.

7.4.2.2 Los costos comunes asumidos por los explotadores de aeronaves incluyen lo siguiente: aviónica e instalación; elaboración de procedimientos de vuelo; elaboración y difusión de material didáctico para la tripulación de vuelo; elaboración de textos sobre mantenimiento; suscripciones a bases de datos de aviónica; y costos ordinarios conexos. Debería incluirse el costo relacionado con los períodos en que las aeronaves están fuera de servicio, salvo cuando las modificaciones puedan llevarse a cabo durante el mantenimiento previsto.

7.4.2.3 Los explotadores de aeronaves deberían seleccionar aviónica que satisfaga todos los requisitos previsible (p. ej., ADS-B, ADS-C y PBN). Esto podría significar costos más elevados de lo previsto inicialmente, pero proporcionaría en el futuro una gama más amplia de beneficios.

7.4.3 Costos y beneficios de GNSS básico

7.4.3.1 Numerosos Estados implantaron operaciones de GNSS básico sin elaborar un análisis de rentabilidad detallado porque la infraestructura del sistema de navegación (GPS) se obtenía sin costo alguno. Numerosos explotadores de aeronaves decidieron utilizar como equipo aviónica TSO C129, que se vende en el mercado, al calcular las economías de combustible obtenidas mediante rutas directas y las economías relacionadas con mínimos de aproximación inferiores, o sea, menos desviaciones, sobrevuelos y cancelaciones, incluido el costo de alojamiento para los pasajeros en caso de interrupción de vuelo. Se propone que, cuando los Estados estén considerando la introducción de servicios de GNSS básico, se aprovechen de la documentación de otros Estados e implanten operaciones de GNSS básico sin que sea necesario un análisis de rentabilidad detallado.

7.4.4 Costos y beneficios de SBAS

7.4.4.1 Los costos relacionados con la implantación de SBAS desde el punto de vista del proveedor ANS, además de los que se enumeran en 7.4.2 abarcan lo siguiente: elaboración de sistemas; infraestructura terrestre, incluidas las estaciones de referencia, estaciones principales, red de comunicaciones terrestres; y costos de satélites GEO. Las opciones relativas al componente GEO abarcan lo siguiente: utilización de un transpondedor SBAS en un GEO del Estado con múltiples funciones (p. ej., observación o comunicaciones meteorológicas); utilización de un GEO dedicado a la función SBAS; o, contratación de un explotador comercial de GEO para incluir un transpondedor SBAS en un satélite GEO en un segmento orbital apropiado.

7.4.4.2 Conviene implantar SBAS en las regiones en que varios Estados pueden compartir costos. Esto da lugar a un sistema más asequible, un servicio uniforme y beneficios para todos los Estados de la región. Un Estado podría desarrollar el sistema y otros podrían adherirse posteriormente o los Estados podrían formar una asociación para desarrollar e implantar un SBAS regional.

7.4.4.3 Los costos de los explotadores de aeronaves incluyen los mencionados en 7.4.2. A partir de 2012, las líneas aéreas internacionales generalmente no creían que era rentable adquirir equipo de aviónica SBAS por varios motivos: dichas líneas aéreas solían prestar servicio a aeropuertos con ILS; al integrar GNSS con IRS ya alcanzaban una elevada disponibilidad de guía; y mediante integración con Baro VNAV podían realizar aproximaciones con guía vertical, pero con mínimos más elevados que con SBAS. No obstante, al menos una línea aérea nacional ha equipado aeronaves Boeing 737 con aviónica SBAS autónoma que permitía guía semejante a ILS hasta mínimos LPV. Esta opción proporciona beneficios a las líneas aéreas que prestan servicio a aeropuertos nacionales con servicio ILS limitado o inexistente. Airbus está desarrollando aviónica SBAS para la aeronave A350.

7.4.4.4 Entre los beneficios de SBAS cabe señalar los siguientes:

- a) menos interrupciones de vuelo y costos conexos proporcionando mínimos inferiores a muchas pistas, incluida LPV hasta 60 m (200 ft) (mínimos de CAT I);
- b) demoras reducidas al proporcionar mayor capacidad aeroportuaria durante operaciones LPV porque SBAS, a diferencia de ILS, carece de zonas sensibles que tengan que protegerse;
- c) mayor eficiencia para procedimientos PBN en ruta y área terminal, permitiendo a un mayor número de aeronaves seguir trayectorias preferidas;
- d) acceso mejorado a pistas donde las limitaciones de emplazamiento impiden el uso de ayudas convencionales;
- e) mayor capacidad en pistas paralelas con limitada separación al permitir varios ángulos de trayectoria de planeo y umbrales desplazados;
- f) costos reducidos al permitir que se retiren del servicio algunas ayudas convencionales;
- g) costos reducidos para el mantenimiento periódico porque la infraestructura terrestre SBAS se limita a unas pocas docenas de emplazamientos, está normalmente situada en instalaciones ANS existentes y utiliza componentes reemplazables de línea redundante;
- h) costos reducidos para la validación de procedimientos en comparación con ILS y otras ayudas convencionales porque las aproximaciones SBAS no exigen inspecciones en vuelo periódicas con aeronaves dotadas de equipo complejo;
- i) costos inferiores de instrucción de la tripulación de vuelo cuando todas las aproximaciones pueden efectuarse con guía vertical; y
- j) precisión e integridad de la posición SBAS que satisfacen los requisitos de performance relativos a vigilancia terminal y en la superficie de ADS-B y sistemas de guía y control del movimiento en la superficie.

7.4.5 Costos y beneficios de GBAS

7.4.5.1 Los costos de implantación de GBAS desde el punto de vista de los proveedores ANS y los explotadores de aeronaves incluyen el costo de las estaciones terrestres de aeropuerto y los que se enumeran en 7.4.2. A partir de 2012, la aviónica GBAS se obtenía únicamente para aeronaves grandes de líneas aéreas y de negocios.

7.4.5.2 Entre los beneficios de GBAS cabe señalar los siguientes:

- a) costo reducido para la infraestructura terrestre porque una sola estación terrestre GBAS puede proporcionar guía de aproximación a todas las pistas en un aeropuerto, a diferencia de ILS, donde cada pista exige un sistema propio; sin embargo, al estimar los costos debería tenerse en cuenta todo requisito de mantener ILS para disminuir los riesgos de vulnerabilidad;
- b) menos interrupciones de vuelo y costos conexos al proporcionar mínimos inferiores a pistas actualmente con aproximaciones que no son de precisión (NPA);
- c) mayor capacidad aeroportuaria porque, a diferencia de ILS, GBAS carece de zonas sensibles que tengan que protegerse; no obstante, los proveedores del servicio deberán evaluar la manera de prestar servicio a una flota de usuarios equipada con aviónica GBAS o ILS y tener en cuenta que para lograr los beneficios tal vez se necesiten pistas reservadas para usuarios de GBAS;

- d) mayor eficiencia para procedimientos PBN en área terminal cuando se cuente con servicio GBAS de determinación de la posición, permitiendo a un mayor número de aeronaves seguir trayectorias preferidas;
- e) mejor acceso a pistas donde las limitaciones de emplazamiento impiden el uso de ayudas convencionales;
- f) menores costos de mantenimiento periódico e inspecciones en vuelo en comparación con ILS;
- g) mayor capacidad en pistas paralelas con limitada separación al permitir varios ángulos de trayectoria de planeo y umbrales desplazados; y
- h) en el futuro, el servicio GBAS de determinación de la posición podría proporcionar beneficios mediante guía y control del movimiento en la superficie.

7.4.5.3 La mayor parte del costo que representa para un aeropuerto realizar operaciones CAT II/III consiste en iluminación del aeropuerto, guía y control del movimiento en la superficie (tal vez radar de movimiento en la superficie) y diseño de aproximaciones (cumplimiento con la superficie de franqueamiento de obstáculos), sea que se utilice GBAS, ILS o MLS. Estos costos adicionales, a menos que una pista ya permita CAT II/III, deben incluirse en el análisis de rentabilidad de GBAS. Los aeropuertos con servicio CAT II/III suelen ser centros muy activos que prestan servicio a ciudades importantes y desempeñan un papel significativo en la economía local y la viabilidad financiera de los explotadores de aeronaves. Aun unas breves interrupciones de servicio pueden ser muy costosas para los explotadores en tales aeropuertos. En el análisis de rentabilidad para GBAS de CAT II/III debe considerarse la necesidad de mantener ILS o MLS en una o más pistas para evitar la interrupción de las operaciones en caso de interferencia con la señal GNSS.

7.4.6 Costos y beneficios de ADS-B

7.4.6.1 Los costos para el proveedor ANS relacionados con la vigilancia ADS-B incluyen lo siguiente: estaciones terrestres (o, en el futuro, costos de satélites LEO); enlaces de comunicaciones terrestres o de satélite; modificación a los sistemas de automatización ATC para presentar los blancos de ADS-B; elaboración de procedimientos ATC y material didáctico; simulación para cuantificar los beneficios; instrucción del personal ATC; y preparación de documentación de aprobación e información para explotadores de aeronaves. La adquisición y operación de estaciones terrestres ADS-B son mucho menos costosas que el radar.

7.4.6.2 En las zonas actualmente sin servicio radar, los beneficios de ADS-B son significativos. La OACI ha establecido que la arquitectura ADS-B actual, desde un punto de vista técnico, permite aplicar la norma de separación de 5 NM en un espacio aéreo en ruta, que actualmente depende del radar. A partir de este punto y considerando la densidad y los movimientos del tránsito local, numerosos Estados han evaluado la seguridad operacional de ADS-B y, a raíz de ello, han aplicado una norma de separación de 5 NM en espacio aéreo no radar. Esto exige aviónica GNSS básico y un transpondedor en Modo S con capacidad para transmitir información sobre posición en 1 090 MHz. En espacio aéreo remoto en Canadá y Australia, la implantación de ADS-B redujo las normas de separación desde un máximo de 80 a 5 NM. En dichos Estados, aunque no todas las aeronaves en el área ADS-B tienen el equipo necesario, muchos explotadores están logrando las ventajas relacionadas con el rendimiento de combustible dado que sus aeronaves efectúan vuelos por trayectorias preferidas. Puede utilizarse la simulación de espacio aéreo para cuantificar los beneficios.

7.4.6.3 Los Estados Unidos prevén utilizar vigilancia ADS-B para todas las operaciones, incluyendo guía y control del movimiento en la superficie. Para esta última operación, SBAS constituye actualmente el único sistema que permite satisfacer los requisitos de precisión e integridad de ADS-B.

7.4.7 Costos y beneficios de ADS-C

7.4.7.1 Entre los costos para el proveedor ANS relacionados con ADS-C cabe señalar la modificación de los sistemas de automatización ATC para procesar datos ADS-C y presentar la posición de las aeronaves en las pantallas de situación de ATC. ADS-C utiliza el enlace de datos digital del sistema de direccionamiento e informe para comunicaciones de aeronaves (ACARS) que sirve principalmente para mensajes operacionales de las líneas aéreas. Los sistemas ATC necesitan una interfaz con los proveedores de ACARS para obtener informes de posición. Esta arquitectura de comunicaciones permite también las comunicaciones controlador-piloto por enlace de datos (CPDLC).

7.4.7.2 Las normas de separación reducida basadas en ADS-C proporcionan mayor capacidad de espacio aéreo y permiten a un mayor número de aeronaves efectuar vuelos a altitudes óptimas por derrota óptimas, reduciendo así el consumo de combustible y las emisiones.

7.5 EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD OPERACIONAL DE LOS SISTEMAS

7.5.1 Al aprobar operaciones basadas en GNSS, un Estado o una organización regional de vigilancia de la seguridad operacional (RSOO) acepta la responsabilidad de asegurar que dichas operaciones satisfagan las normas aceptadas de seguridad operacional. Los Estados pueden proporcionar señales GNSS o autorizar el uso de señales proporcionadas por otras entidades, en cuyo caso los Estados siguen siendo responsables de supervisar la seguridad operacional del servicio, como se describe en el *Manual de vigilancia de la seguridad operacional* (Doc 9734) de la OACI. Además, incumbe a los Estados la responsabilidad del sistema total, incluidas las aeronaves, la actuación de ATC y de la tripulación de vuelo, la información aeronáutica y los elementos de aeródromo.

7.5.2 En el *Manual de gestión de la seguridad operacional (SMM)* (Doc 9859) de la OACI se describen los procedimientos de determinación de peligros y análisis de riesgos que deberían aplicarse para evaluar un servicio propuesto antes de su implantación. La evaluación de la seguridad operacional debería permitir determinar todos los peligros técnicos y operacionales y riesgos conexos y adoptar métodos para eliminar los peligros o reducir la probabilidad o gravedad de posibles sucesos.

7.5.3 En el Anexo 11 — *Servicios de tránsito aéreo*, se dispone que se evalúe la seguridad operacional antes de realizar, en el sistema ATC, cambios significativos relacionados con la misma. El mismo principio se aplica a los proveedores ANS, explotadores de aeródromos y aeronaves u otras organizaciones reglamentadas. Para evitar la duplicación, más entidades podrían evaluar juntas la seguridad operacional de los cambios (p. ej., implantación de GBAS donde la fuente de energía la proporciona el explotador del aeródromo, cuando se cuenta con una torre de control cuyos procedimientos cambiarán y donde GBAS funciona en un área donde las señales SBAS son también disponibles).

7.5.4 Normalmente, cada evaluación de seguridad operacional se basa en diversas hipótesis, tales como el hecho de que la aviónica instalada tiene una aprobación de aeronavegabilidad y que los pilotos han recibido capacitación. Incumbe a los Estados verificar que se confirmen todas estas hipótesis.

7.5.5 Los SARPS relativos a constelaciones principales y sistemas de aumentación y las normas para aviónica se han elaborado para alcanzar determinados niveles reconocidos de seguridad operacional, de modo que en algunos casos no se necesita otro análisis de estos elementos. Las normas de diseño de procedimientos en los PANS-OPS (Doc 8168) tienen una base similar de seguridad operacional.

7.5.6 Un procedimiento eficaz de evaluación de la seguridad operacional empieza en la primera etapa de desarrollo de un CONOPS, en la que se examinan todos los aspectos técnicos y operacionales de un servicio propuesto, lo que permite elaborar reglamentos, instrucción y procedimientos apropiados e instalar sistemas conexos. El procedimiento sigue durante todo el ciclo de vida del servicio. La experiencia indica que con este método se logra un uso más eficiente de los recursos, evitando problemas imprevistos que reducen los beneficios, causan riesgos para la seguridad operacional y demoran la implantación.

7.5.7 En el caso de la aumentación GNSS y los sistemas ADS-B, al evaluar la seguridad operacional cabe asegurarse de que el diseño del sistema y su implantación satisfagan los SARPS. Desde las primeras aprobaciones de GNSS en 1993, numerosos Estados han implantado operaciones PBN y algunos ADS-B. Los reglamentos y procedimientos operacionales adoptados por dichos Estados reflejan una evaluación de la seguridad operacional que otros Estados pueden utilizar como base, tal vez con un “análisis de diferencias” para tener en cuenta aspectos propios del Estado en cuestión.

7.5.8 No todas las aeronaves están equipadas con aviónica GNSS. Al evaluar la seguridad operacional deben considerarse los procedimientos operacionales que se aplican a aeronaves equipadas o no.

7.6 CERTIFICACIÓN Y APROBACIONES OPERACIONALES

7.6.1 Aprobaciones operacionales

7.6.1.1 Un Estado puede autorizar operaciones basadas en GNSS en su espacio aéreo de diversas maneras, siendo más comunes las siguientes:

- a) otorgar privilegios de aproximación GNSS a pilotos con habilitación de vuelo por instrumentos;
- b) incluir las operaciones en la especificación operacional que se adjunta al certificado de explotador de servicios aéreos para explotadores de aeronaves comerciales, tras haber examinado el manual de vuelo aprobado y la instrucción de la tripulación de vuelo; y
- c) remitir un documento (p. ej., aprobación específica en forma de carta de autorización) a fin de aprobar operaciones específicas para aeronaves con equipo certificado.

7.6.1.2 Algunos Estados han exigido una “aprobación específica” para operaciones CAT II y III, para otras operaciones complejas o para “nuevos” conceptos de operaciones. En la aprobación se especifican todas las condiciones generales y las limitaciones respecto a las operaciones propuestas.

7.6.1.3 La solicitud, documentación y obtención de una aprobación específica representará una carga administrativa, sobre todo para explotadores no comerciales. Por ello, se recomienda que los Estados o las RSOO no impongan dichos procedimientos adicionales cuando se reúnan los ocho requisitos siguientes:

- a) la aeronave, incluida su aviónica de navegación, tiene la aprobación de aeronavegación, incluidas las operaciones IFR propuestas;
- b) la complejidad de las operaciones IFR propuestas no representa ninguna dificultad particular;
- c) el concepto y los sistemas con los que las operaciones IFR se llevarán a cabo están bastante avanzados, como es el caso hoy para GNSS;
- d) el riesgo relacionado con operación inadecuada es tolerable;
- e) la precisión, integridad, disponibilidad y continuidad de las señales de radionavegación están aseguradas;
- f) unas normas apropiadas relativas a la calidad y la gestión del diseño de procedimientos se han establecido;
- g) la precisión e integridad de la base de datos de navegación están aseguradas; y

- h) unas normas y procedimientos apropiados de instrucción y verificación de la tripulación de vuelo para las operaciones IFR propuestas existen y se han implantado.

7.6.1.4 La amplia variedad de aviónica GNSS e interfaces de pilotos dicta un enfoque adaptado para la instrucción y certificación de la tripulación de vuelo. En el caso de aeronaves dotadas con sistemas de gestión de vuelo (FMS), la transición a operaciones basadas en GNSS será relativamente sencilla. En el caso de aviónica GNSS autónoma, la autorización de operaciones GNSS podría incorporar disposiciones sobre requisitos específicos de instrucción, certificación de la tripulación de vuelo y operación de bases de datos de a bordo. Numerosos Estados han elaborado material didáctico teniendo en cuenta los servicios basados en GNSS y lo presentan en Internet.

7.6.2 Certificación de aviónica

7.6.2.1 Como se describe en el manual PBN, las aeronaves necesitan aviónica que satisfaga las especificaciones de navegación prescritas. La aviónica utilizada para servicios basados en GNSS debe ser de un tipo aprobado e instalarse de conformidad con criterios específicos. Toda nueva instalación debería validarse mediante una serie de pruebas, mediciones e inspecciones. Los procedimientos de certificación y verificación se basan en normas de performance contenidas en la documentación RTCA y EUROCAE y en documentos de los Estados. Las instalaciones de aviónica pueden aprobarse como parte del diseño original del tipo de aeronave (certificado de tipo) o como modificación del mismo (certificado de tipo complementario).

7.6.2.2 Los suplementos a los manuales de vuelo de las aeronaves forman parte del mecanismo de certificación. La mayoría de los fabricantes de aeronaves han añadido textos en sus manuales de vuelo para incluir aviónica basada en GNSS. La autoridad estatal competente debería aprobar dichos manuales, que contienen procedimientos y limitaciones operacionales para una operación apropiada.

7.6.2.3 En los procedimientos para pilotos, contenidos en los manuales de operación de aeronaves, deben tenerse en cuenta las características de GNSS y reducir a un mínimo la carga de trabajo de la tripulación de vuelo y ATC. En los *Procedimientos para los servicios de navegación aérea – Operación de aeronaves (PANS-OPS)* (Doc 8168) figuran procedimientos de vuelo generales para utilizar GNSS.

7.6.2.4 Para operaciones ADS-B, debe demostrarse que la integración de sensores GNSS con el transpondedor u otro medio utilizado para transmitir información de posición es eficaz. Esto puede ser evaluado por los proveedores ANS que tienen capacidad para observar la eficacia de ADS-B.

7.6.2.5 Dado que numerosos Estados aplican normas FAA o AESA, la armonización de dichas normas es esencial; en la práctica, ambos organismos tratan de lograrla siempre que sea posible.

7.6.3 Utilización de receptores GNSS no IFR para navegación VFR

7.6.3.1 Numerosos pilotos utilizan receptores que no satisfacen las normas relativas a operaciones IFR como complemento a la navegación según las reglas de vuelo visual (VFR), particularmente en zonas en que existen pocos puntos de referencia y donde las ayudas convencionales no existen o no son fiables.

7.6.3.2 Los receptores no IFR proporcionan guía precisa la mayoría del tiempo, pero no la detección de fallas que RAIM proporciona, de modo que una señal de un satélite que haya fallado podría producir un error de posición significativo sin ninguna alerta para el piloto. Otros problemas posibles pueden resultar de un emplazamiento inapropiado de antenas con receptores portátiles, la incapacidad de actualizar las bases de datos del receptor en algunos casos y el uso de datos de mapas ajenos a WGS-84.

7.6.3.3 Los pilotos que utilizan receptores no IFR deben mantenerse en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC) y aplicar pilotaje o vuelo a estima para garantizar la seguridad operacional. Deben resolver cualquier diferencia entre la posición GNSS y los mapas o datos de navegación procedentes de otras fuentes. Han ocurrido

accidentes en que los pilotos VFR que se fiaban sobremanera en GPS prosiguieron su vuelo en condiciones meteorológicas deterioradas sin referencias visuales y han perdido el control o sufrieron un accidente CFIT. Algunos Estados han publicado textos sobre seguridad operacional al respecto.

7.6.3.4 Algunos Estados han adoptado el uso de puntos de notificación VFR en las cercanías de aeropuertos con un nivel significativo de tráfico de aeronaves ligeras. GNSS asiste a la navegación hacia los mencionados puntos de notificación VFR en VMC. Esto aumenta la conciencia de la situación y proporciona a los pilotos más tiempo para vigilar otras aeronaves.

7.6.4 Vigilancia de la seguridad operacional de los sistemas GBAS y SBAS

7.6.4.1 GBAS y SBAS siempre deben satisfacer los SARPS. Los Estados suelen otorgar contratos para el suministro de SBAS o GBAS y el contratante debe demostrar que:

- a) su mecanismo de evaluación de la seguridad operacional del sistema ha determinado y evaluado debidamente todos los peligros para la seguridad operacional de este último y que puede demostrarse que el diseño satisface los requisitos de seguridad operacional de más alto nivel (p. ej., integridad y continuidad del servicio);
- b) sus mecanismos de prueba y verificación de requisitos confirma el cumplimiento del requisito de cada especificación. Suelen ser objeto de examen en esta actividad los planes, procedimientos e informes del solicitante relativos a verificación y pruebas del nivel del sistema. Normalmente, los Estados llevarán a cabo pruebas de verificación con el equipo del contratante; y
- c) sus procedimientos de desarrollo de soporte físico y lógico cumplen con las normas apropiadas.

7.7 PRUEBAS DE SISTEMAS Y VALIDACIÓN DE PROCEDIMIENTOS

7.7.1 En el *Manual sobre ensayo de radioayudas para la navegación* (Doc 8071), *Volumen II — Ensayo de sistemas de navegación por satélite*, figura orientación sobre pruebas de GNSS diseñadas para confirmar la aptitud de las señales GNSS para procedimientos de vuelo de conformidad con el Anexo 10.

7.7.2 Los proveedores ANS deben también determinar si un procedimiento es apropiado para publicación, como se indica en los PANS-OPS (Doc 8168), *Volumen II, Parte I, Sección 2, Capítulo 4, Garantía de calidad*. En el *Manual de garantía de calidad para el diseño de procedimientos de vuelo* (Doc 9906), *Volumen 5 — Validación de los procedimientos de vuelo por instrumentos*, figura la orientación necesaria sobre procedimientos basados en GNSS. La validación en vuelo de procedimientos basados en GNSS es mucho menos costosa que para ayudas convencionales porque no se necesitan mediciones complejas, ni sistemas de registro, ni verificaciones periódicas de las señales.

7.8 VIGILANCIA Y REGISTRO DE INFORMACIÓN GNSS

7.8.1 En el Anexo 10 se recomienda que un Estado que apruebe operaciones basadas en GNSS supervise y registre los datos GNSS pertinentes para fines de investigación de accidentes e incidentes. Los datos pueden también utilizarse periódicamente para confirmar la eficacia de GNSS. No se trata de proporcionar un mecanismo de notificación en tiempo real.

7.8.2 Los parámetros que deben registrarse dependen del tipo de operación, sistema de aumentación y elementos principales utilizados. Deberían registrarse todos los parámetros al alcance de los usuarios dentro de un área de servicio en emplazamientos representativos de esta última.

7.8.3 El sistema de registro no tiene que ser independiente del servicio GNSS y puede delegarse en otros Estados o entidades. Para la futura reconstitución de indicaciones de posición, velocidad y hora proporcionadas por configuraciones GNSS específicas, se recomienda registrar los datos continuamente, generalmente a un ritmo de 1 Hz.

7.8.4 Para sistemas GNSS principales, deberían registrarse los elementos supervisados siguientes respecto a todos los satélites visibles:

- a) relación de portadora a densidad de ruido (C/N_0) del satélite observado;
- b) código de pseudodistancia bruta del satélite observado y mediciones de la fase de portadora;
- c) mensajes de navegación de los satélites transmitidos, para todos los satélites visibles; y
- d) información pertinente sobre el estado del receptor registrador.

7.8.5 Para SBAS, deberían registrarse los elementos supervisados siguientes respecto a todos los satélites GEO visibles, además de los elementos del sistema GNSS principal que se acaban de enumerar:

- a) C/N_0 del satélite geoestacionario observado;
- b) código de la pseudodistancia bruta del satélite geoestacionario observado y mediciones de la fase de portadora;
- c) mensajes de datos SBAS transmitidos; y
- d) información pertinente sobre el estado del receptor.

7.8.6 Para GBAS, deberían registrarse los elementos supervisados siguientes, además de los relativos al sistema GNSS principal y los elementos SBAS supervisados que se acaban de enumerar:

- a) nivel de potencia VDB;
- b) información sobre el estado de VDB; y
- c) mensajes de datos GBAS transmitidos.

7.8.7 Los Estados y regiones han tratado la vigilancia de diferentes maneras, entre las cuales las siguientes:

- a) los Estados Unidos han implantado una red de análisis de performance (PAN) para verificar continuamente la performance de GPS y WAAS. Los resultados se documentan en informes PAN producidos trimestralmente que pueden consultarse en Internet: <http://www.nstb.tc.faa.gov/>;
- b) EUROCONTROL ha elaborado la red de recopilación de datos EGNOS (EDCN) para una vigilancia continua de la eficacia de EGNOS. La red ha facilitado la certificación de EGNOS y facilitará la validación operacional de su evolución. Los resultados se documentarán en informes trimestrales y podrán consultarse en Internet: www.ecacnav.com; y
- c) la Federación de Rusia utiliza una red de estaciones terrestres GBAS como fuentes regionales de supervisión de datos.

7.9 PLANIFICACIÓN DEL ESPACIO AÉREO Y ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS

7.9.1 Generalidades

7.9.1.1 En el manual PBN se explican los objetivos estratégicos que definen el concepto de espacio aéreo para un área en particular, los vínculos con requisitos funcionales de navegación y la especificación de navegación correspondiente. En la mayoría de los casos, GNSS proporciona la única manera de satisfacer la eficacia técnica requerida por una especificación de navegación RNAV o RNP. Los sistemas que se venden en el mercado que cumplen con las normas del Anexo 10 y las correspondientes a la aviónica satisfacen estas especificaciones. GNSS hace que PBN sea asequible y accesible para todos los explotadores de aeronaves.

7.9.1.2 En el manual PBN se proporciona también orientación para el diseño de procedimientos de vuelo, incluida la elaboración de rutas, llegadas, salidas y aproximaciones basadas en especificaciones de navegación.

7.9.1.3 En los PANS-OPS, Volúmenes I y II, figuran criterios para operaciones terminales, NPA y salida GNSS, elaboradas de conformidad con la eficacia del receptor de GNSS básico. Se han publicado también criterios relativos a salidas normalizadas por instrumentos (SID) y llegadas normalizadas por instrumentos (STAR). En los PANS-OPS se tratan también los procedimientos APV SBAS, APV Baro VNAV y GBAS.

7.9.2 Procedimientos de aproximación basados en GNSS

7.9.2.1 Cuando se aprobó GNSS por primera vez para procedimientos NPA, numerosos proveedores ANS diseñaron nuevas aproximaciones autónomas GPS. Éstas ofrecen beneficios significativos porque a menudo proporcionan mínimos inferiores, no exigen una reversión de curso y proporcionan a la tripulación de vuelo información de posición precisa durante todo el procedimiento. También contribuyen a la seguridad operacional de las aproximaciones directas a pistas donde las ayudas convencionales se limitarían a procedimientos de circuito.

7.9.2.2 En algunos Estados, se permite que los pilotos efectúen vuelos con procedimientos apropiados VOR, VOR/DME, radiofaro no direccional (NDB) y NDB/DME NPA utilizando guía GPS. Estas aproximaciones de “complemento de GPS” permiten a los explotadores beneficiarse de mayor precisión y conciencia de la situación sin necesidad de que el proveedor ANS diseñe una nueva aproximación. Esto se considera como una etapa interina que produce beneficios tempranos para los usuarios. Esto puede, en particular, permitir a los usuarios que carecen de aviónica con radiogoniómetro automático (ADF) efectuar vuelos en espacio aéreo donde los NDB apoyan ciertas operaciones. Utilizando guía GPS, los pilotos siguen la trayectoria definida por las ayudas convencionales y cumplen con la altitud mínima de descenso que figura en las cartas. Algunos procedimientos basados en VOR y NDB no son apropiados para el programa de complemento porque ciertos tramos de aproximación no pueden adaptarse al sistema de codificación de datos RNAV.

7.9.2.3 Con objeto de evitar la posible confusión entre dos aproximaciones a la misma pista, un enfoque de complemento debería eliminarse de la publicación de información aeronáutica (AIP) del Estado cuando se diseña una aproximación autónoma GPS a la misma pista.

7.9.2.4 Algunas restricciones operacionales se han considerado necesarias para la implantación inicial de procedimientos NPA basados en ABAS, utilizados en vuelo con aviónica TSO C129. Los motivos de estas restricciones y sus características varían de un Estado a otro e incluyen lo siguiente: falta de disponibilidad de RAIM al 100%; disponibilidad de ayudas convencionales como reserva; densidad de tráfico; y reglamentos relativos a la redundancia de la aviónica. Una restricción operacional común en algunos Estados consiste en que el piloto no deberá tener en cuenta las aproximaciones GPS en un aeropuerto de alternativa al determinar requisitos diferentes de mínimos meteorológicos.

7.9.2.5 Los términos NPA y APV del Anexo 10 coinciden con las categorías de aproximaciones del Anexo 6, pero no con las categorías de pistas por instrumentos e instrumentos de precisión del Anexo 14. No obstante, las disposiciones actuales de la OACI permiten diseñar aproximaciones APV (mínimos LPV o LNAV/VNAV), de conformidad con la especificación de navegación PBN RNP APCH, como se ha demostrado mediante implantaciones en numerosas regiones del mundo. En los PANS-OPS (Doc 8168), Volumen II, Parte III, Sección 3, Capítulo 4, 4.1.6 y el Capítulo 5, 5.1.4, esta cuestión se trata de la manera siguiente:

“el Anexo 14 no contiene orientación sobre requisitos de infraestructura de pistas para las operaciones de aproximación y aterrizaje con guía vertical. A fin de evaluar si la pista es apropiada para un procedimiento de aproximación con guía vertical, esa pista y la OLS asociada deberían cumplir al menos los requisitos del Anexo 14 para pistas de aproximación que no son de precisión si la OCH no es inferior a 90 m (300 ft) y para la pista de aproximación de precisión Cat I si la OCH es inferior a 90 m (300 ft)”.

Nota.— Se está actualizando la tecnología relacionada con la clasificación de las aproximaciones. La fecha de aplicación prevista para las nuevas disposiciones relativas a dicha clasificación es 2013; cuando pasen a ser aplicables, se enmendará este párrafo en consecuencia.

7.9.2.6 La introducción de GNSS suscitó una fuerte demanda de procedimientos de aproximación PBN y algunos Estados han experimentado dificultad en satisfacerla. No obstante, estos procedimientos son muy apropiados para el diseño asistido por computadora, lo que aumenta la productividad y permite evaluar rápidamente otros métodos y determinar el diseño más apropiado para cada situación.

7.9.3 Altitud mínima en ruta (MEA)

7.9.3.1 Las limitaciones de cobertura de las ayudas convencionales para la navegación afectan a la altitud mínima en ruta (MEA) en las aerovías. En algunos casos, esto exige que la aeronave efectúe su vuelo en altitudes superiores donde se necesita oxígeno o donde existen condiciones de engelamiento. A diferencia de las ayudas convencionales para la navegación, GNSS proporciona cobertura hasta el suelo, de manera que MEA puede basarse en consideraciones de terreno, obstrucciones y cobertura de las comunicaciones.

7.10 SERVICIOS DE INFORMACIÓN AERONÁUTICA

7.10.1 Información acerca de operaciones basadas en GNSS

7.10.1.1 Cuando un Estado aprueba operaciones basadas en GNSS debe enunciar claramente, en la AIP del Estado, las condiciones generales y procedimientos, además de elementos como los requisitos de instrucción.

7.10.1.2 Los Estados deben también informar acerca de los antecedentes de la tecnología GNSS y sus aplicaciones operacionales. La experiencia ha indicado que los explotadores de aeronaves necesitan información detallada para asegurar el cumplimiento de los reglamentos y el uso más efectivo y eficaz de GNSS. Numerosos Estados han preparado información de esa categoría, que puede consultarse en sus sitios web.

7.10.1.3 Debido al ritmo de desarrollo de la tecnología y las operaciones GNSS, los explotadores de aeronaves necesitan información actualizada que les permita planificar la adquisición de aviónica, lo que puede lograrse invitándolos a participar en la elaboración de CONOPS y análisis de rentabilidad.

7.10.1.4 Las actualizaciones de la información pueden publicarse en una circular de información aeronáutica (AIC), la AIP del Estado o, en algunos casos, una circular de asesoramiento.

7.10.2 Sistemas de coordenadas WGS-84

7.10.2.1 La orientación sobre navegación basada en la performance depende de una definición precisa de las coordenadas de los puntos de recorrido basadas en un sistema de referencia geodésica común.

7.10.2.2 En el Anexo 10 se especifica que la información de posición GNSS se expresará en términos de WGS-84. Puede hallarse información adicional sobre el uso de WGS-84 en el Anexo 4 — *Cartas aeronáuticas*, Anexo 11 — *Servicios de tránsito aéreo*, Anexo 14 — *Aeródromos*, y Anexo 15 — *Servicios de información aeronáutica*, así como en el *Manual del sistema geodésico mundial — 1984 (WGS-84)* (Doc 9674).

7.10.2.3 El manual sobre WGS-84 contiene textos de orientación relativos a la transformación de las coordenadas y datos de referencia actuales a WGS-84. Se trata de un procedimiento matemático en que no se tienen en cuenta la calidad y precisión de las coordenadas originales. Debido a la falta de integridad de los levantamientos topográficos existentes, numerosos Estados han realizado otros nuevos siguiendo las normas de WGS-84, opción que se considera preferible.

7.10.2.4 En el Anexo 10 se especifica que PZ-90 será el sistema de coordenadas de GLONASS y se proporcionan parámetros de conversión utilizados para obtener coordenadas WGS-84. En 2007 la referencia PZ-90 se actualizó resultando en una diferencia, respecto a WGS 84, inferior a 40 cm en cualquier dirección.

7.10.3 Base de datos de navegación de a bordo

7.10.3.1 La seguridad operacional de la navegación GNSS y la guía de aproximación depende de la integridad de los datos en la base de datos de navegación de a bordo. Los Estados deben asegurarse de que la calidad (precisión, integridad y resolución) de los datos de posición se mantiene desde el momento del levantamiento topográfico hasta la presentación de la información a los proveedores de bases de datos que crean las bases de datos de navegación de a bordo con los fabricantes de aviónica. Los Estados pueden asegurar la integridad de las bases de datos certificando y vigilando a los proveedores de datos o delegando la responsabilidad de vigilancia a explotadores de aeronaves certificados. Este procedimiento debería también asegurar la uniformidad con los datos utilizados en los sistemas de datos de vuelo y radar ATC.

7.10.3.2 En las especificaciones de navegación en el manual PBN se indican los requisitos relativos a las bases de datos para operaciones específicas. Existen dos documentos armonizados EUROCAE/RTCA para facilitar la producción y utilización de datos aeronáuticos: *Normas para procesar datos aeronáuticos* (RTCA/DO-200A/EUROCAE ED-76) y *Normas relativas a la información aeronáutica* (RTCA/DO-201A/EUROCAE ED-77). Estos documentos constituyen un marco para elaborar coordenadas válidas de puntos de recorrido y asegurar que las bases de datos de navegación de a bordo contienen únicamente coordenadas correctas. En el Anexo 11, Capítulo 2, y el Anexo 15, Capítulo 3, figuran disposiciones relativas a los datos aeronáuticos.

7.10.3.3 Los mapas y cartas utilizados por las tripulaciones de vuelo deben armonizarse con las bases de datos de navegación de a bordo. La trayectoria que debe seguirse al aplicar un procedimiento de vuelo se define según coordenadas de puntos de recorrido y designadores de tipo de tramo codificados por los proveedores de bases de datos. Por consiguiente, los diseñadores conocen las normas de codificación de datos y los Estados deberían validar todas las coordenadas de puntos de recorrido y los designadores esenciales de tipos de tramos, particularmente los que se utilizan en procedimientos de aproximación y salida por instrumentos.

7.10.3.4 La base de datos de navegación de a bordo debe ser válida respecto al ciclo efectivo de reglamentación y control de la información aeronáutica (AIRAC), que generalmente exige que una base de datos al día se cargue en la aviónica cada 28 días. El uso de bases de datos de navegación que hayan expirado crea un riesgo para la seguridad operacional.

7.11 NOTIFICACIÓN DEL ESTADO DEL SERVICIO GNSS

7.11.1 Generalidades

7.11.1.1 Los proveedores ANS del Estado tienen la responsabilidad de notificar el estado de los servicios de navegación aérea. Si cambia el estado de un servicio, o se prevea que cambie, este hecho debería notificarse a los usuarios mediante comunicaciones directas desde los servicios de tránsito aéreo (ATS) o NOTAM o el sistema de información aeronáutica [véase el Anexo 15 — *Servicios de información aeronáutica* y los *Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Gestión del tránsito aéreo* (PANS-ATM) (Doc 4444)].

7.11.1.2 Con las ayudas convencionales, el servicio se relaciona directamente con el estado del equipo. Por consiguiente, un NOTAM que indique que un ILS está fuera de servicio indica que la aproximación de precisión correspondiente no será disponible.

7.11.1.3 En el caso de GNSS, cuando un satélite de constelación principal o una estación de referencia SBAS falla o se retira del servicio para mantenimiento, no existe relación directa con una pérdida de servicio. En tales casos, los proveedores ANS y los explotadores de aeronaves pueden determinar los efectos generales de la interrupción de servicio mediante modelos matemáticos. Existen entidades comerciales y estatales que pueden asistir a los Estados a desarrollar sistemas para prestar servicio a su espacio aéreo. Sin embargo, como se describe más abajo, tales modelos no pueden definir la disponibilidad del servicio con precisión para todas las aeronaves en una zona.

7.11.2 NOTAM sobre estado del sistema principal de satélites

7.11.2.1 Los explotadores de constelaciones principales GNSS deberían proporcionar información sobre las interrupciones del servicio, reales o previstas, de sus satélites. Los Estados Unidos informan mediante avisos para usuarios NAVSTAR (NANU) y la Federación de Rusia mediante avisos para usuarios GLONASS (NAGU). Los proveedores ANS y algunos explotadores de aeronaves exigen esta información en forma de NOTAM para elaborar modelos de estado del servicio. Los sistemas utilizados por los proveedores ANS suelen generar notificaciones de estado del servicio y NOTAM sin intervención humana.

7.11.2.2 No es posible establecer con precisión la performance a nivel de las aeronaves en todas partes dentro de un área de servicio utilizando receptores de control y modelos matemáticos por los motivos siguientes:

- a) las aeronaves y los receptores de control pueden seguir diferentes conjuntos de satélites;
- b) un receptor de control no puede estimar las variaciones en las señales de los satélites que sigue que sean causadas por la forma de la célula y las instalaciones de antenas;
- c) la dinámica de las aeronaves puede afectar a la recepción de señales de satélites;
- d) el enmascaramiento del terreno puede afectar a la aeronave o al receptor de control;
- e) las fuentes de errores tales como trayectos múltiples, ruido del receptor y la ionosfera tal vez no puedan correlacionarse entre el receptor de control y el receptor de la aeronave; y
- f) los receptores de aeronave tal vez apliquen técnicas únicas que mejoran la disponibilidad básica de RAIM/FDE.

7.11.2.3 Dada la variedad de diseños de aviónica, un modelo de estado del servicio no puede satisfacer los requisitos de todos los explotadores. Un modelo prudente produciría falsas alarmas para algunas aeronaves. Un modelo menos prudente podría no detectar una interrupción del servicio para algunos y producir falsas alarmas para

otros. No obstante, únicamente la tripulación de vuelo, y no el ATC, puede determinar si, por ejemplo, es posible continuar una aproximación por instrumentos basada en ABAS. En cambio, ATC tiene acceso a datos del monitor ILS y puede no otorgar una autorización de aproximación ILS basándose en una indicación de falla. El concepto de monitor en tiempo real no es práctico ni se necesita para operaciones ABAS de GNSS; podría ser práctico para SBAS y GBAS, pero la implantación dependería de un requisito operacional válido.

7.11.2.4 Los explotadores de aeronaves con acceso a soportes lógicos de predicción específicos para su aviónica ABAS/RAIM en particular observarán que es ventajoso utilizar dicho soporte lógico más bien que el servicio de notificación general. En el caso de SBAS y GBAS, los explotadores dependerán de notificaciones de estado del servicio.

7.11.2.5 Los proveedores AIS pueden decidir proporcionar todas las notificaciones de estado del servicio mediante NOTAM; sin embargo, basándose en la experiencia en algunos Estados, Internet constituye otro método y tiene ciertas ventajas, entre las que cabe señalar: capacidad de presentar gráficamente las interrupciones de servicio previstas dentro de un área de servicio; capacidad de presentar automáticamente notificaciones pertinentes a determinada ruta de vuelo; y amplia aceptación de Internet como fuente de información para planificación previa al vuelo. Internet no se reconoce en algunos Estados para la notificación de estado del servicio porque no satisface las mismas normas de seguridad de la aviación como un sistema NOTAM.

7.11.2.6 No obstante, los proveedores de servicio deberían utilizar el sistema NOTAM para difundir información sobre lo siguiente:

- a) estado del sistema principal de satélites;
- b) interferencia con GNSS;
- c) amplias interrupciones de servicio SBAS (p. ej., debido a falla de GEO); y
- d) interrupciones del servicio GBAS.

7.11.3 NOTAM sobre interferencia

7.11.3.1 Los proveedores ANS deben estar preparados para tomar medidas cuando los informes sobre anomalías de las aeronaves o de dependencias basadas en tierra indiquen interferencia con las señales. Si un análisis confirma la presencia de interferencia, los proveedores ANS deben determinar el área afectada y expedir un NOTAM apropiado.

7.11.3.2 En algunos Estados, ocasionalmente las autoridades militares prueban la capacidad de su equipo y sistemas transmitiendo señales de interferencia que perturban el servicio GNSS en determinada área. Normalmente, esa actividad se coordina con las oficinas responsables del espectro del Estado y los proveedores ANS. Las autoridades militares y de otra índole que utilizan dispositivos de interferencia voluntaria deberían coordinar dicha actividad con los proveedores ANS a fin de que puedan determinar el espacio aéreo afectado, informar a los explotadores de aeronaves y elaborar los procedimientos necesarios.

7.11.4 NOTAM “SBAS NO DISPONIBLE”

7.11.4.1 Un NOTAM “SBAS NO DISPONIBLE” se utilizaría en caso de falla de todos los satélites GEO que prestan servicio a un área. Entonces, los usuarios de SBAS dependerían de RAIM/FDE para vigilar la integridad. Este NOTAM alertaría a los usuarios de SBAS para que realizaran predicciones previas al vuelo sobre disponibilidad de RAIM.

7.11.4.2 La falla de una estación de referencia SBAS cerca del borde de un área de servicio privaría a los aeropuertos de una región de APV. Esto también sería objeto de un NOTAM “SBAS NO DISPONIBLE” en que se especifique la región afectada; podría también informarse a los usuarios acerca de los aeropuertos afectados como se describe en 7.11.6.

7.11.4.3 Aunque sea poco probable, es posible que el número de satélites de constelación principal estuviese muy reducido (p. ej., menos de 21 disponibles) o que la falla de componentes del sistema SBAS redujera la disponibilidad de SBAS en ruta hasta el servicio NPA (LNAV). Así, el servicio SBAS estaría todavía “disponible”, pero se producirían interrupciones del servicio. En este caso, en el NOTAM “SBAS NO DISPONIBLE” deberían darse instrucciones a los usuarios de SBAS para que realizaran verificaciones RAIM previas al vuelo.

7.11.5 NOTAM de interrupción del servicio de estaciones GBAS

7.11.5.1 Si una estación GBAS está fuera de servicio o se prevé que lo esté, se necesita un NOTAM sobre interrupción del servicio. Una falla de un elemento GBAS podría dar lugar a un servicio deficiente (p. ej., CAT II/III a CAT I), pero sin interrumpirlo totalmente.

7.11.6 Notificaciones de estado del servicio PBN

7.11.6.1 Los modelos de estado del servicio deberían reflejar todos los niveles de servicio aprobados en el Estado basados en ABAS/RAIM o SBAS, excluidos aquéllos que exijan autorización especial basada en un diseño de aviónica exclusivo. Para asegurar que los modelos de estado del servicio reflejan niveles apropiados del servicio, es necesario elaborar modelos para los diversos límites de alerta sobre integridad relacionados con las especificaciones de navegación PBN y los relacionados con disposiciones técnicas normalizadas (TSO) que rigen las operaciones de GNSS básico y SBAS.

7.11.6.2 Cuando se utilicen señales de constelaciones principales múltiples para fines operacionales, será necesario elaborar un modelo de uso conjunto de dichas constelaciones.

7.11.6.3 Dado que la aviónica SBAS (TSO C145/C146) y TSO C196 pueden funcionar como la aviónica TSO C129 con mejor disponibilidad, en el modelo deberían tenerse en cuenta los usuarios con aviónica SBAS que efectúen vuelos fuera de las áreas de servicio SBAS.

7.11.6.4 Los proveedores ANS deberían adoptar modelos prudentes compatibles con una aviónica que satisfaga las normas básicas. Esto no impide que se proporcione una característica que permita a los usuarios introducir elementos como el ángulo de enmascaramiento y la capacidad de ayuda barométrica para obtener predicciones que mejor correspondan a la performance específica de la aviónica.

7.11.6.5 En la Tabla 7-1 figura un ejemplo de los niveles de servicio y los límites correspondientes de la alerta predictiva de integridad para aviónica de GNSS básico (p. ej., TSO C129) y SBAS (p. ej., TSO C145/146).

7.11.6.6 A medida que surjan nuevos niveles de servicio, éstos deberán incluirse en la elaboración de modelos y las notificaciones añadiendo cálculos apropiados de límites de alerta, lo que podría incluir niveles relacionados con la implantación de ADS-B.

7.12 NOTIFICACIÓN DE ANOMALÍAS

7.12.1 Desde el punto de vista de la tripulación de vuelo, una anomalía GNSS ocurre cuando se pierde la guía de navegación o cuando no sea posible fiarse a la guía GNSS. A este respecto, una anomalía es similar a una interrupción de servicio. Una anomalía puede relacionarse con un funcionamiento deficiente de un receptor o una antena, un número insuficiente de satélites visibles, una geometría de satélites deficiente o el enmascaramiento de señales por la célula. La anomalía percibida puede también deberse a interferencia con la señal, pero dicha determinación exige un análisis detallado que se base en toda la información disponible.

- 7.12.2 Entre las medidas que podrían tomar los pilotos, cabe señalar las siguientes:
- notificar la situación a ATC lo antes posible y solicitar una atención especial, según corresponda;
 - comunicar el distintivo de llamada, emplazamiento, altitud de la aeronave y hora del suceso a ATC; y
 - enviar información a la autoridad designada lo antes posible, incluida una descripción del suceso (p. ej., manera en que la aviónica falló o reaccionó durante la anomalía).
- 7.12.3 Entre las medidas que podría tomar el controlador, cabe señalar las siguientes:
- registrar la información mínima, incluido el distintivo de llamada, emplazamiento y altitud de la aeronave y la hora del suceso;
 - tratar de identificar otras aeronaves con equipo GNSS que podrían experimentar la anomalía;
 - transmitir el informe de anomalía a otras aeronaves, según corresponda;
 - enviar información a la autoridad designada; y
 - solicitar a la tripulación de vuelo que presente un informe completo de conformidad con los procedimientos del Estado.
- 7.12.4 Los Estados deberían designar a una oficina nacional o regional para recopilar información relativa a anomalías y determinar las medidas necesarias para resolver las anomalías notificadas debidas a interferencia con las señales. La mencionada oficina debería analizar la información y distribuirla a los organismos competentes en el Estado u otros organismos internacionales. Se indican a continuación algunas de las medidas que la dependencia coordinadora podría tomar:
- evaluar los informes de anomalía;
 - informar a ATS y proporcionar actualizaciones sobre la situación;
 - notificar al organismo responsable de la gestión de frecuencias;
 - asegurarse de expedir avisos apropiados y NOTAM, según corresponda;
 - establecer coordinación con Estados y organismos que proporcionen constelaciones principales de satélites u otros elementos GNSS;
 - tratar de localizar o determinar la fuente de la interferencia;
 - implantar una política nacional para atenuar la anomalía; y
 - seguir y notificar todas las actividades relacionadas con la anomalía hasta que se resuelva.
- 7.12.5 Es indispensable coordinar, a nivel nacional e internacional, las medidas encaminadas a evitar y atenuar la interferencia con GNSS. Para facilitar la notificación, la utilización de un formulario normalizado permite el seguimiento de los informes de anomalías y facilita la coordinación. Los Estados podrían exigir información más detallada para analizar las anomalías GNSS. La recopilación y evaluación de los datos proporcionará a las autoridades el apoyo necesario para las medidas de implantación. Todo formulario adoptado por un Estado debería incluirse en su AIP y publicarse mediante una AIC.

7.12.6 Si el análisis de los informes de las tripulaciones de vuelo confirma la presencia de interferencia, los proveedores ANS deben determinar el área afectada, expedir un NOTAM apropiado, informar a la tripulación de vuelo mediante comunicaciones directas, aplicar medidas de atenuación como se describe en 7.13, y luego localizar la fuente y resolver el problema. Asimismo, los proveedores ANS u otras organizaciones responsables podrían utilizar sistemas basados en tierra para detectar la interferencia.

7.13 VULNERABILIDAD DE GNSS: ATENUACIÓN DEL EFECTO EN LAS OPERACIONES

7.13.1 Evaluación de riesgos

7.13.1.1 Como se describe en el Capítulo 5, los Estados pueden tomar medidas para reducir la probabilidad de interrupciones de servicio debido a interferencia involuntaria o intencional con las señales. No obstante, los proveedores ANS deben evaluar el riesgo determinando la probabilidad residual de interrupciones del servicio y el efecto de una interrupción en las operaciones de las aeronaves en determinado espacio aéreo.

7.13.1.2 La probabilidad de interferencia depende de factores como la densidad demográfica y los motivos de personas o grupos en un área para perturbar los servicios de aviación y otros. Dicha probabilidad será muy baja o nula en áreas oceánicas o escasamente pobladas y más elevada cerca de los grandes centros de población. Al evaluar las repercusiones, se considerará el tipo de espacio aéreo, los niveles de tráfico y la disponibilidad de vigilancia independiente y servicios de comunicaciones y se hará frente a los efectos económicos y de seguridad operacional. La probabilidad de perturbación debida a centelleo dependerá del área geográfica y exigirá evaluación científica. La atenuación será necesaria si se considera que la perturbación es posible y puede tener importantes repercusiones.

7.13.1.3 En el futuro, la disponibilidad de GNSS con constelaciones y frecuencias múltiples junto con aviónica avanzada reducirá la probabilidad de perturbación del servicio.

7.13.2 Estrategias de atenuación

7.13.2.1 La perturbación de señales GNSS exigirá la aplicación de estrategias realistas y eficaces de atenuación para asegurar la seguridad operacional y regularidad de los servicios aéreos y disuadir a quienes tuviesen la intención de perturbar las operaciones de las aeronaves. Tres métodos principales pueden aplicarse en forma combinada:

- a) aprovechar el equipo de a bordo, como IRS;
- b) aprovechar las ayudas convencionales para la navegación y el radar; y
- c) aplicar métodos basados en procedimientos (tripulación de vuelo o ATC).

7.13.2.2 Debido a las vulnerabilidades persistentes de GNSS, varios Estados han determinado la necesidad de una estrategia alternativa de posición, navegación y temporización (APNT) con miras a mantener los servicios en la mayor medida posible en caso de interrupción de señales GNSS. Para ser eficaz, una estrategia APNT debe tener aplicación mundial y ser asequible y poder implantarse en un plazo relativamente corto. Esto implica aprovechar los sistemas y la aviónica utilizados actualmente y, luego, definir una vía de evolución realista, según corresponda.

7.13.2.3 IRS proporciona una capacidad de navegación de área a corto plazo al perderse la actualización GNSS. Numerosas aeronaves de transporte aéreo están equipadas con IRS; dichos sistemas son cada vez más asequibles y accesibles para explotadores de aeronaves pequeñas regionales. La mayoría de estos sistemas se actualizan también mediante DME. Por consiguiente, en una estrategia APNT deberían considerarse arquitecturas con un componente IRS y tenerse en cuenta la disponibilidad de actualización DME.

7.13.2.4 Las ayudas convencionales pueden también constituir una fuente de guía. DME es la ayuda convencional más apropiada disponible a corto o medio plazo para operaciones PBN, dado que actualmente proporciona una entrada para los sistemas de navegación con sensores múltiples que permite la navegación de área en espacio aéreo en ruta y terminal. Actualmente, VOR/DME proporciona una capacidad de reserva útil para vuelos en ruta. ILS constituye el método más apropiado para servicio de aproximación de precisión. Según la evaluación de la amenaza, los niveles de tráfico y las condiciones meteorológicas, un proveedor ANS podría considerar apropiado conservar algunas o todas las operaciones ILS existentes en un aeropuerto o dentro de un área en particular.

7.13.2.5 Los métodos basados en procedimientos (tripulación de vuelo o ATC) puede proporcionar una atenuación eficaz al combinarse con las que se han descrito anteriormente, teniendo debidamente en cuenta lo siguiente:

- a) la clasificación del espacio aéreo y la disponibilidad de radar;
- b) la aviónica en la aeronave que utilice el espacio aéreo (p. ej., la mayoría de las aeronave en espacio aéreo de alto nivel tendrá una actualización IRS o DME/DME de los sistemas de navegación);
- c) la carga de trabajo para la tripulación de vuelo y el controlador de tránsito aéreo y la disponibilidad de instrumentos de apoyo a la decisión para los controladores;
- d) las repercusiones que la pérdida de GNSS tendrá en otras funciones, como la vigilancia en un entorno ADS-B o ADS-C; y
- e) la capacidad de proporcionar el incremento necesario de separación entre rutas de aeronaves o en el espacio aéreo bajo consideración.

7.13.2.6 Adoptando una estrategia eficaz basada en uno o varios de los métodos indicados en la presente sección, un proveedor ANS no sólo garantizará operaciones seguras de las aeronaves en caso de interrupción de GNSS, sino que disuadirá las tentativas de interferencia intencional y reducirá las repercusiones operacionales de esta última.

7.14 PLANIFICACIÓN DE LA TRANSICIÓN

7.14.1 Infraestructura de navegación convencional

7.14.1.1 La infraestructura actual que abarca ayudas VOR, DME y NDB se instaló inicialmente para la navegación por rutas alineadas entre instalaciones VOR y NDB.

7.14.1.2 A medida que aumentaban los niveles de tráfico, se instalaron ayudas adicionales para rutas nuevas, lo que dio lugar a una distribución no uniforme de las ayudas para la navegación. Algunas áreas cuentan con una elevada densidad de ayudas, mientras que otras tienen una densidad baja o muy baja. Sin embargo, esto no implica que se necesiten nuevas ayudas convencionales en estas últimas áreas cuando los Estados implanten servicios basados en GNSS.

7.14.1.3 A medida que los Estados implantan PBN y se dota a un mayor número de aeronaves con aviónica GNSS, las regiones con elevados niveles de tráfico ya no necesitarán una elevada densidad de VOR y NDB, lo que constituye una oportunidad para racionalizar la infraestructura convencional.

7.14.1.4 Las redes DME permiten a las aeronaves equipadas con aviónica RNAV apropiada efectuar vuelos por rutas y según procedimientos RNAV. Probablemente DME formará parte de la estrategia de atenuación a largo plazo encaminada a mantener las operaciones RNAV en caso de pérdida temporal de las señales GNSS.

7.14.2 Racionalización de ayudas convencionales

7.14.2.1 La implantación de servicios basados en GNSS brinda la oportunidad de racionalizar las ayudas para la navegación y el radar convencionales. El ritmo de racionalización dependerá del nivel de utilización de equipo de aviónica GNSS, la elaboración de espacio aéreo y procedimientos y la evaluación de los riesgos de vulnerabilidad.

7.14.2.2 La instalación de equipo depende en gran medida de la demostración de la capacidad, eficiencia y beneficios ambientales y, en menor medida, de las economías en materia de infraestructura ANS, que será mayor cuando las ayudas alcancen el final de su ciclo de vida útil y exijan reemplazo.

7.14.2.3 Complican la adopción de equipo de aviónica un enfoque etapa por etapa para la implantación y la introducción de nuevas características (p. ej., frecuencias múltiples) y nuevos elementos GNSS. Los Estados deben colaborar estrechamente con los explotadores para elaborar una estrategia coordinada y un plan que sea práctico y realizable desde el punto de vista de los proveedores ANS y los explotadores de aeronaves. En esta operación deben determinarse todos los requisitos de la aviónica para satisfacer los requisitos PBN, ADS-B y los de todos los demás sistemas operacionales.

7.14.2.4 En algunos Estados o regiones, en algún momento en el futuro, tal vez sea necesario exigir que se adopte equipo para lograr un uso eficiente del espacio aéreo. Todas estas decisiones exigen una estrecha coordinación con los explotadores de aeronaves.

7.14.3 Planificación de la futura infraestructura convencional

7.14.3.1 En varios Estados, los planes de racionalización iniciales siguieron un procedimiento “de arriba a abajo” basado en la expectativa de que la implantación de PBN haría redundantes las ayudas convencionales. Si bien se reconocen en principio los beneficios de PBN, no es siempre fácil justificar su plena implantación a menos que pueda resolver los problemas de capacidad y eficiencia del espacio aéreo. Aun cuando se implante la PBN, la instalación de aviónica puede dictar la necesidad de mantener ayudas y rutas convencionales.

7.14.3.2 Tal vez sea más apropiado un procedimiento “de abajo a arriba”, considerando que se logran los mayores beneficios económicos al no reemplazar las ayudas cuando concluya su ciclo de vida útil (característicamente 20 a 25 años).

7.14.3.3 Esto debería realizarse determinando las oportunidades de racionalización, evaluando los cambios necesarios en las rutas y determinando si una implantación limitada de PBN sería más económica que el reemplazo de las ayudas. Esta estrategia constituiría una oportunidad para iniciar la transición del espacio aéreo a un entorno PBN completo.

7.14.3.4 Numerosos Estados cuentan con múltiples procedimientos de aproximación por instrumentos basados en ayudas convencionales. Todos incurren en gastos de mantenimiento e instrucción (tripulación de vuelo y ATC). La implantación de procedimientos de aproximación PBN brinda una oportunidad para retirar algunos de estos procedimientos y las ayudas correspondientes.

7.14.3.5 La fuente principal de guía de aproximación de precisión es actualmente ILS; éste servirá como reserva principal a aproximaciones basadas en GNSS para el futuro previsible. Varios Estados han iniciado recientemente proyectos de reemplazo de ILS y otros han instalado MLS.

7.14.3.6 El objetivo final de la racionalización consiste en pasar a una red operacional mínima de ayudas que permita mantener un nivel de continuidad y eficiencia de las operaciones que satisfaga, en la medida de lo posible, las expectativas de los explotadores de aeronaves.

7.14.3.7 Como ejemplo, un Estado con una elevada densidad de instalaciones VOR ha elaborado una estrategia con miras a mantener un segundo medio de navegación para las aeronaves equipadas con VOR en caso de interrupción del servicio GNSS. Esto permitiría guía no GNSS para aeronaves que efectúan operaciones a una altitud de 1 500 m (5 000 ft) o más hacia un aeropuerto dentro de 100 NM que tenga un procedimiento de aproximación ILS o VOR. Esta estrategia permitirá al Estado retirar del servicio un número muy importante de VOR. Al mismo tiempo, el Estado perfeccionará las instalaciones DME para operaciones RNAV en espacio aéreo de Clase A y en la cercanía de los grandes aeropuertos.

7.14.3.8 ADS-B ya produce beneficios importantes en espacio aéreo no radar donde el radar sería muy costoso. La implantación de ADS-B en terminales con gran intensidad de tráfico y en espacio aéreo en ruta a los que el radar presta servicio actualmente no dará lugar necesariamente a la eliminación del radar. Algunos Estados han concluido que se necesitará cobertura de radar primario y secundario para el futuro previsible en tales áreas para tener en cuenta: la amenaza de interferencia con señales GNSS, que podrían dar lugar a la pérdida de la capacidad de navegación y vigilancia; la necesidad de detectar a las aeronaves sin transpondedores o ADS-B; y el requisito de detectar condiciones meteorológicas peligrosas. No obstante, ADS-B podrá producir beneficios operacionales en tales áreas y su implantación podría evitar el costo de una cobertura radar redundante.

7.14.3.9 Los Estados y las regiones deben ajustar las estrategias de racionalización y atenuación a los niveles actuales y previstos de tráfico, capacidad de las aeronaves, niveles de amenaza y expectativas de los explotadores de aeronaves. Los principales transportistas aéreos probablemente exigirán un servicio casi normal con repercusiones mínimas en la capacidad. Los explotadores de aviación general y helicópteros, que generalmente efectúan operaciones de conformidad con VFR, estarán en mejores condiciones para tolerar las interrupciones de servicio.

7.15 CUESTIONES PROGRAMÁTICAS Y DE SEGURIDAD DE LA AVIACIÓN

7.15.1 La seguridad de las ayudas convencionales incumbe a las autoridades estatales. La cobertura GNSS se extiende más allá del territorio de numerosos Estados, de modo que la seguridad debería tratarse a nivel regional o mundial. Es importante proteger los elementos GNSS utilizados por la aviación civil contra terrorismo o actos violentos.

7.15.2 Los Estados deben prever la posibilidad de interrupción o deterioro del servicio GNSS o de las ayudas para la navegación convencionales durante una situación de emergencia nacional (véase el Artículo 89 del *Convenio sobre Aviación Civil Internacional*). Los Estados deben también contar con planes para contingencias en caso de conflicto internacional o si un Estado vecino produce interferencia con las señales GNSS, perturbando el servicio más allá de sus fronteras. Algunos Estados se ocupan de los aspectos de seguridad de GNSS, lo que podría dar lugar a nuevos procedimientos para proteger la seguridad operacional y la eficiencia de las operaciones de las aeronaves.

7.15.3 Las cuestiones programáticas, incluida la falta de recursos, las fallas de lanzamiento o las fallas imprevistas de satélites podrían reducir el número de satélites disponibles para servicios específicos basados en GNSS. Asimismo, la falla del segmento de control o el error humano podría causar interrupciones de servicio y errores de modo común en varios satélites de una misma constelación. El suministro de servicios fiables a partir de constelaciones principales de satélites exige una gestión y financiación eficaz de los sistemas.

7.16 REALIZACIÓN DEL POTENCIAL DE GNSS

7.16.1 GPS ha proporcionado beneficios de seguridad operacional y eficiencia a la aviación civil desde 1993, llevando a una amplia aceptación de los servicios basados en GNSS por parte de explotadores de aeronaves, autoridades de reglamentación de los Estados y proveedores ANS. Numerosos Estados han iniciado la organización del espacio aéreo con miras a una mayor eficiencia basada en PBN, ADS-B y ADS-C y han elaborado métodos para reforzar la seguridad operacional y mejorar el acceso a los aeropuertos.

7.16.2 El ritmo de introducción de equipo de aviónica GNSS es un elemento clave para lograr beneficios máximos. Los plenos beneficios de PBN en espacio aéreo en ruta y terminal dependen de que prácticamente todas las aeronaves estén dotadas del equipo necesario. Los explotadores de aeronaves invertirán en aviónica únicamente si los servicios propuestos prometen beneficios operacionales y economías significativos. Los proveedores ANS y las autoridades de reglamentación deben trabajar con los explotadores de aeronaves para determinar las soluciones técnicas y los servicios que satisfarán sus análisis de seguridad operacional y rentabilidad.

7.16.3 Idealmente, GNSS permitiría que se retiraran del servicio todas las ayudas convencionales y que los explotadores de aeronaves eliminaran los costos de capital e instrucción relacionados con el mantenimiento de aviónica convencional y GNSS. También significaría costos inferiores para los proveedores ANS. Sin embargo, los problemas de vulnerabilidad de la señal GNSS exigirán que se mantengan algunas ayudas convencionales para el futuro previsible. Entre tanto, los proveedores ANS pueden reducir los costos racionalizando las redes de dichas ayudas.

7.16.4 La disponibilidad de constelaciones múltiples que transmiten por frecuencias múltiples hará que GNSS sea más robusto y permitirá ampliar el servicio con mayores beneficios después de 2020 cuando se cuente con los sistemas y la aviónica necesarios. Entre tanto, los proveedores ANS pueden trabajar con los explotadores de aeronaves para ampliar los servicios basados en GNSS y los beneficios, al propio tiempo que planifican los servicios de próxima generación. Las ASBU y las hojas de ruta de navegación y PBN en el GANP proporcionan un marco de planificación que los Estados pueden adaptar a su entorno operacional, asegurando al mismo tiempo compatibilidad mundial.

Tabla 7-1. Niveles de servicio y límites de alerta

	<i>En ruta</i>	<i>Terminal</i>	<i>LNAV LNAV/VNAV</i>	<i>LP</i>	<i>LPV*</i>	<i>CAT I*</i>
Límite de alerta	HAL = 2 NM	HAL = 1 NM	HAL = 0,3 NM	HAL = 40 m	VAL = 50 m	VAL = 35 m
Aviónica GPS	Proporcionada	Proporcionada	Proporcionada	N/A	N/A	N/A
Aviónica SBAS	Proporcionada **	Proporcionada **	Proporcionada	Proporcionada	Proporcionada	Proporcionada

* LPV SBAS y CAT I tienen un HAL de 40 m, pero puede suponerse que VAL sea el componente dominante para la predicción del servicio.

** Con un SBAS eficaz, no se necesitan predicciones para servicio en ruta y terminal porque la disponibilidad será del 100%. Se necesitan dichas predicciones para prestar servicio a aeronaves con aviónica SBAS fuera del área de servicio SBAS o en caso de una amplia falla de este último.

Apéndice A

REFERENCIAS

1. PUBLICACIONES PERTINENTES DE LA OACI

Las siguientes son publicaciones de la OACI relacionadas con la implantación de GNSS. En el *Catálogo de publicaciones de la OACI* figuran los resúmenes de los documentos correspondientes.

Resoluciones de la Asamblea

- A32-19: Carta sobre los derechos y obligaciones de los Estados con relación a los servicios GNSS
- A32-20: Desarrollo y elaboración de un marco jurídico a largo plazo adecuado para regir la implantación de GNSS
- A33-15: Declaración consolidada de las políticas y prácticas permanentes de la OACI relativas a un sistema mundial de gestión del tránsito aéreo (ATM) y a los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia/gestión del tránsito aéreo (CNS/ATM)
- A37-11 Metas mundiales de navegación basada en la performance

Anexos al Convenio sobre Aviación Civil Internacional

- Anexo 2 *Reglamento del aire*
- Anexo 4 *Cartas aeronáuticas*
- Anexo 6 *Operación de aeronaves*
- Anexo 10 *Telecomunicaciones aeronáuticas, Volumen I — Radioayudas para la navegación*
- Anexo 11 *Servicios de tránsito aéreo*
- Anexo 14 *Aeródromos*
- Anexo 15 *Servicios de información aeronáutica*

Documentos

- Doc 4444 *Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Gestión del tránsito aéreo*
- Doc 7030 *Procedimientos suplementarios regionales*

- Doc 7300 *Convenio sobre Aviación Civil Internacional*
- Doc 8071 *Manual sobre ensayo de radioayudas para la navegación, Volumen II — Ensayo de sistemas de radionavegación por satélite*
- Doc 8126 *Manual para los servicios de información aeronáutica*
- Doc 8168 *Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Operación de aeronaves*
Volumen I — *Procedimientos de vuelo*
Volumen II — *Construcción de procedimientos de vuelo visual y por instrumentos*
- Doc 8400 *Procedimientos para los servicios de navegación aérea — Abreviaturas y códigos de la OACI*
- Doc 8697 *Manual de cartas aeronáuticas*
- Doc 9161 *Manual sobre los aspectos económicos de los servicios de navegación aérea*
- Doc 9426 *Manual de planificación de servicios de tránsito aéreo*
- Doc 9613 *Manual de navegación basada en la performance (PBN)*
- Doc 9660 *Informe sobre los aspectos financieros y de organización y gestión del suministro y explotación de sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS)*
- Doc 9674 *Manual del sistema geodésico mundial — 1984 (WGS-84)*
- Doc 9689 *Manual sobre la metodología de planificación del espacio aéreo para determinar las mínimas de separación*
- Doc 9734 *Manual de vigilancia de la seguridad operacional*
- Doc 9750 *Plan mundial de navegación aérea*
- Doc 9859 *Manual de gestión de la seguridad operacional (SMM)*
- Doc 9906 *Manual de garantía de calidad para el diseño de procedimientos de vuelo, Volumen 5 — Validación de procedimientos de vuelo por instrumentos*

Circulares

- Cir 257 *Aspectos económicos de los servicios de navegación aérea por satélite*
- Cir 278 *Plan nacional para los sistemas CNS/ATM*

2. OTRAS PUBLICACIONES

ICAO EB 2001/56	Interferencia con las señales del sistema mundial de navegación por satélite (GNSS)
ITU-R SM 1009-1	Compatibility between the Sound-Broadcasting Services in the Band of about 87 – 108 MHz and the Aeronautical Services in the Band 108 – 137 MHz
RTCA/DO-200A/EUROCAE ED-76	Standards for Processing Aeronautical Data
RTCA/DO-201A/EUROCAE ED-77	Standards for Aeronautical Information
ECC Report 129	Technical and operational provisions required for the use of GNSS repeaters
ECC Report 145	Regulatory framework for Global Navigation Satellite System (GNSS) repeaters
ECC Recommendation (10)02	A framework for authorization regime of Global Navigation Satellite System (GNSS) repeaters
IS-GPS-200	<i>GPS Interface Specification</i>

“Manual de reglamentos y procedimientos para la gestión federal de radiofrecuencias” (llamado “Libro rojo”) de la Administración nacional de telecomunicaciones e información (NTIA) de los Estados Unidos. Nota: La sección 9.3.20 del Libro rojo de NTIA sólo se aplica a los usuarios del gobierno federal. El uso de repetidores por usuarios no gubernamentales está prohibido en los Estados Unidos.

Documentos sobre normas relativas a la aviónica

<i>Sistemas de aumentación</i>	<i>Disposición técnica normalizada (TSO) de la FAA de los Estados Unidos</i>	<i>Normas de performance operacional mínima (MOPS)/Normas mínimas de performance del sistema de aviación (MASPS) de RTCA (EUROCAE)</i>
ABAS	TSO-C129A Nivel 2 (en ruta/terminal) TSO-C129A Niveles 1 ó 3 (NPA) TSO-C196 EASA ETSO-C129c	RTCA/DO-208 EUEOCAE ED-72A RTCA/DO-316
SBAS*	TSO-C145 TSO-C146A EASA ETSO-C145c, -C146c	RTCA/DO-229D EASA ETSO-C145c, -C146c
GBAS	TSO-C161A TSO-C162A	RTCA/DO-245A RTCA/DO-246D RTCA/DO-253C EUROCAE ED-95

* La aviónica SBAS satisface todos los requisitos de ABAS.

Apéndice B

FUNCIONES DE LOS PROVEEDORES ANS Y LAS AUTORIDADES DE REGLAMENTACIÓN

<i>Proveedor de servicios de navegación aérea</i>	<i>Autoridad de reglamentación</i>
Encabezar el desarrollo de un CONOPS encaminado a alcanzar los objetivos de los explotadores de aeronaves relativos a un servicio basado en GNSS en que se definan los requisitos de eficacia y se proponga una arquitectura del sistema.	Participar en el desarrollo de CONOPS para determinar requisitos para reglamentos nuevos o modificados.
Elaborar un plan de gestión de la seguridad operacional y adherirse al mismo para cubrir sus servicios basados en GNSS.	Vigilar la seguridad operacional de los servicios basados en GNSS del proveedor de servicios.
Llevar a cabo pruebas, simulaciones y estudios para validar el CONOPS.	Examinar las recomendaciones del proveedor de servicios respecto a aprobaciones operacionales basándose en conclusiones de estudios.
Coordinar el suministro de servicios basados en GNSS con explotadores de aeronaves y la autoridad de reglamentación.	Elaborar normas de instrucción y certificación de la tripulación de vuelo para el uso de la aviónica GNSS por los explotadores de aeronaves comerciales y de negocios. Aprobar el uso operacional de GNSS por los explotadores de aeronaves comerciales y de negocios. Elaborar textos de orientación y procedimientos relativos a la aprobación operacional de GNSS. Establecer requisitos para aprobaciones específicas de explotadores, instrucción y certificación de la tripulación de vuelo.

<i>Proveedor de servicios de navegación aérea</i>	<i>Autoridad de reglamentación</i>
Asistir a los explotadores de aeronaves para tomar decisiones fundadas relativas a la adquisición de aviónica para servicios basados en GNSS.	<p>Elaborar normas y textos de orientación nacionales para la certificación e instalación de aviónica GNSS en aeronaves con matrícula nacional. Cuando sea necesario, la elaboración de normas y orientación puede realizarse como medida común con otras autoridades de aeronavegabilidad para evitar la duplicación e intensificar la armonización.</p> <p>Certificar o supervisar la certificación, según corresponda, del equipo de aviónica GNSS diseñado o fabricado en el país, así como la instalación de equipo GNSS en aeronaves de matrícula nacional.</p> <p>Elaborar textos de orientación y mecanismos de aprobación relativos a la instalación de aviónica GNSS.</p>
	Determinar equipo y normas de instalación, incluidas disposiciones en suplementos a los manuales de vuelo de las aeronaves.
Coordinar la realización de análisis de rentabilidad para servicios basados en GNSS para facilitar la toma de decisiones por parte de explotadores de aeronaves y proveedores de servicios.	
Establecer estrategias apropiadas para instalar infraestructura basada en GNSS, atenuar las interrupciones del servicio GNSS y retirar del servicio ayudas terrestres, según corresponda. Esto incluye la vigilancia de la seguridad operacional de los contratantes.	Validar los aspectos de seguridad operacional de las estrategias de atenuación.
Coordinar la elaboración de metodología de estudios y aplicar la norma WGS-84.	
Elaborar e implantar procedimientos de utilización de datos para satisfacer los requisitos de precisión e integridad de las operaciones basadas en GNSS.	
Elaborar sistemas de vigilancia, notificación y NOTAM sobre el estado del sistema para operaciones basadas en GNSS.	

<i>Proveedor de servicios de navegación aérea</i>	<i>Autoridad de reglamentación</i>
<p>Publicar procedimientos relativos a aproximación por instrumentos y otros procedimientos basados en GNSS.</p> <p>Proporcionar información aeronáutica sobre procedimientos GNSS a los proveedores de bases de datos y productores de cartas.</p>	<p>Elaborar normas de diseño de procedimientos por instrumentos basados en GNSS o aprobar el uso de PANS-OPS existentes u otros criterios reconocidos.</p> <p>Supervisar la certificación de los sistemas basados en GNSS y procedimientos de espacio aéreo conexos.</p>
<p>Establecer requisitos y procedimientos de verificación en vuelo, adquirir el equipo necesario y llevar a cabo las verificaciones en vuelo necesarias para operaciones basadas en GNSS.</p>	
<p>Vigilar y registrar la performance de GNSS.</p>	
<p>Elaborar y publicar orientación y material didáctico relacionado con el uso operacional de servicios basados en GNSS en apoyo de la instrucción de tripulaciones de vuelo y personal ATS.</p>	<p>Publicar las condiciones generales relacionadas con la aprobación del uso de GNSS mediante la publicación de información aeronáutica del Estado, circulares de información aeronáutica y circulares de asesoramiento.</p> <p>Elaborar directrices para instructores en vuelo y normas de instrucción en vuelo para el uso de servicios basados en GNSS.</p>
<p>Definir requisitos ATS, espacio aéreo y procedimientos, incluida la aplicación de normas de separación.</p>	
<p>Establecer requisitos de instrucción y certificación para diseñadores de procedimientos y personal ATS.</p> <p>Capacitar al personal ATS para operaciones basadas en GNSS.</p>	<p>Aprobar requisitos de instrucción y certificación.</p>
<p>Elaborar especificaciones técnicas para infraestructura relacionada con GNSS.</p>	
<p>Adquirir e instalar aumentaciones GNSS y validar la eficacia del sistema respecto a los SARPS.</p>	<p>Ejercer vigilancia de la seguridad operacional para la implantación de infraestructura basada en GNSS.</p>
<p>Determinar los problemas de gestión del espectro relacionado con GNSS.</p>	<p>Ejercer la gestión del espectro para proteger las frecuencias GNSS.</p>

Apéndice C

ESPECTRO GNSS

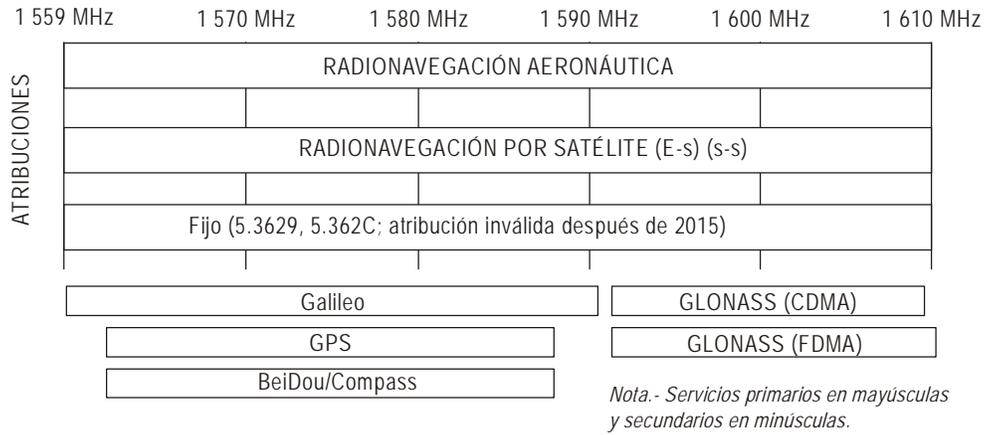


Figura C-1. Atribución de frecuencias en la banda de 1 559 a 1 610 MHz

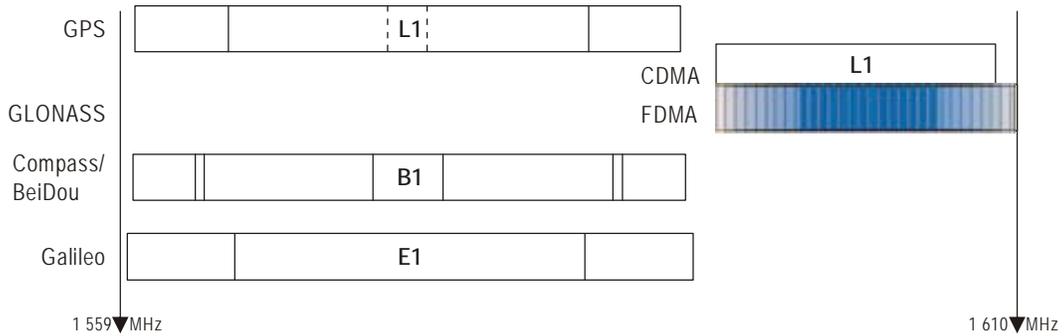


Figura C-2. Frecuencias utilizadas por constelaciones principales

Apéndice D

HOJA DE RUTA DE NAVEGACIÓN

PBN	Bloque 0	2018	Bloque 1	2023	Bloque 2	2028	Bloque 3
Facilitadores							
Convencionales	ILS/MLS Mantener para aproximaciones de precisión y atenuar interrupciones de servicio GNSS						
	DME Optimizar la red existente para operaciones PBN						
	VOR/NDB Racionalizar según la necesidad y el equipo						
Basados en satélites	Constelaciones GNSS principales Frecuencia única (GPS/GLONASS) Frecuencias y constelaciones múltiples (GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo)						
	Aumentaciones GNSS SBAS GBAS Cat I GBAS Cat II/III Frecuencias múltiples GBAS/SBAS						
Capacidad							
PBN (véase hoja de ruta PBN)	Operaciones PBN						
	B0-65, B0-05, B0-10	B1-10, B1-40	B2-05	B3-05, B3-10			
Aproximación de precisión	Aterrizaje CAT I/II/III ILS/MLS GBAS Cat I GBAS Cat II/III Cat I/II/III SBAS LPV 200						
	B0-65	B1-65					

Figura D-1. Hoja de ruta de navegación

Apéndice E

HOJA DE RUTA PBN

PBN	Bloque 0	2018	Bloque 1	2023	Bloque 2	2028	Bloque 3
En ruta oceánica y remota continental	RNAV 10 (RNP 10)						
	RNP 4 RNP 2						
En ruta continental	RNAV 5 RNP 2 RNP avanzada						
	RNAV 2 RNP 0,3 (helicópteros únicamente) RNAV 1						
Espacio aéreo terminal: llegadas y salidas	RNAV 1 RNP avanzada						
	RNP 1 básico RNP 0,3 (helicópteros únicamente)						
Aproximación	RNP APCH (SBAS: LPV, BARO VNAV: LNAV/VNAV, GNSS básico: LNAV)						
	RNP AR APCH (cuando sea ventajoso)						
	Vía de transición según requisitos regionales o estatales						

Figura E-1. Hoja de ruta PBN

— FIN —

ISBN 978-92-9249-338-7



9 7 8 9 2 9 2 4 9 3 3 8 7