

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



***“APLICACIÓN DEL SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN
SATELITAL GNSS EN LA REGIÓN SAM”***

***INFORME DE INGENIERÍA
PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO***

PRESENTADO POR:

ALFREDO ENRIQUE JUNES ARROYO

PROMOCIÓN:

1993 – I

LIMA - PERÚ

2002

Este trabajo va dedicado para:

**Mis queridos padres, hermanos y
para una persona muy especial
en mi vida, quienes con su
apoyo moral, motivaron en mi la
decisión y voluntad suficiente
para culminar mi anhelada
carrera profesional.**

***“APLICACIÓN DEL SISTEMA GLOBAL DE
NAVEGACIÓN SATELITAL GNSS EN LA REGIÓN
SAM”***

PROLOGO

En primer lugar quiero expresar mi eterna gratitud para mi Alma Mater, La "Universidad Nacional de Ingeniería", UNI, que me cobijó en sus aulas y me dió la oportunidad de forjarme un futuro lleno de posibilidades. Hago extensivo mi agradecimiento a todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, gracias a sus conocimientos y experiencias transmitidos, hoy en día puedo ser capaz de desarrollarme y enfrentar los obstáculos con plena confianza.

El presente trabajo esta orientado a proporcionar información sobre las limitaciones de las actuales ayudas terrestres a la aeronavegación y mostrar los requisitos y ventajas de la implantación del Nuevo Sistema Global de Navegación Satelital conocido como **GNSS** , que deberá ser utilizado en un futuro muy cercano como único medio de Navegación.

El trabajo consta de once capítulos:

El primer capítulo, nos muestra una descripción del Actual Sistema de Navegación Aérea.

El segundo capítulo, trata sobre el funcionamiento básico de los sistemas que conforman el GNSS, como son el GPS y el GLONASS, además del uso conjunto de ambos sistemas.

El tercer capítulo, identifica las operaciones disponibles con el GPS, que están en relación con los parámetros de performance como son de exactitud, integridad, disponibilidad y continuidad.

El cuarto capítulo, detalla el desarrollo de rutas y procedimientos GPS, basadas en el Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84).

El quinto capítulo, destaca los beneficios del GPS en relación de los sistemas de navegación convencionales.

El sexto capítulo, identifica y establece los requisitos para la implantación del sistema GPS. Detalla los requerimientos operacionales por fase de vuelo y las normas para el uso del GPS como medio de navegación primario.

El séptimo capítulo, describe el futuro del GNSS. Uso del GPS diferencial y la implementación de aumentación basados en tierra y en satélites.

El octavo capítulo, hace una introducción a la implementación progresiva del nuevo programa de modernización adoptada por la OACI denominada CNS/ATM con relación a la Comunicación, Navegación, Vigilancia y Gestión del Tránsito Aéreo.

El noveno y décimo capítulo, proporciona criterios para efectuar la evaluación de equipos GPS de aviónica y terrestre, así como un análisis general sobre costo/beneficio del nuevo programa GNSS.

El onceavo capítulo, muestra las fases para la implantación del GNSS, así como las operaciones y procedimientos aprobados.

Espero que el presente trabajo sirva como marco de referencia para la difusión del **GNSS**, novedoso programa que revolucionará el Mundo de la Aeronavegación.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I	
EL ACTUAL SISTEMA DE NAVEGACIÓN AÉREA	16
1.1 Descripción	16
CAPÍTULO II	
FUNCIONAMIENTO DEL GNSS	19
2.1 Funcionamiento básico de los sistemas GPS y GLONASS	19
2.1.1 Segmentos del Sistema GNSS	19
2.1.2 Determinación de la posición	20
2.1.3 Satélites	24
2.2 Descripción del Sistema GPS	24
2.2.1 Desarrollo del Sistema	24
2.2.2 Segmentos	25
2.2.3 Cronología del GPS	26
2.3 Descripción del Sistema GLONASS	26
2.3.1 Desarrollo del Sistema	26
2.3.2 Segmentos	28
2.4 Uso conjunto del sistema GPS y del GLONASS	28
2.5 Sistema Galileo	29
2.6 Espectro de frecuencia GPS	30
2.7 NOTAM/NANU	31

CAPÍTULO III

OPERACIONES DISPONIBLES CON EL GPS	33
3.1 Introducción	33
3.2 Requisitos de performance	33
3.2.1 Generalidades	33
3.2.2 Exactitud	34
3.2.3 Integridad	34
3.2.4 Disponibilidad	35
3.2.5 Continuidad	35
3.3 Medio único de navegación	35
3.3.1 Definición	35
3.3.2 Cumplimiento del GPS con los requisitos de performance	36
3.4 Medio de Navegación Suplementario y Primario	39
3.4.1 Sistema de Navegación como medio Suplementario	39
3.4.2 Sistema de Navegación como medio Primario	39
3.5 Operaciones GPS aprobadas por la FAA	40
3.6 Aprobación de la OACI con respecto al uso del GNSS	40

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE RUTAS Y PROCEDIMIENTOS GPS	42
4.1 Introducción	42
4.2 Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84)	42
4.3 Desarrollo de rutas GPS	46
4.4 Desarrollo de aproximaciones GPS	46
4.4.1 Generalidades	46
4.4.2 Area terminal de llegada	48
4.4.3 Diseño básico T	50

VIII

4.4.4	Diseño básico	51
4.4.5	Proceso de desarrollo	52
4.5	Aproximaciones GPS de no – precisión	52
4.5.1	Definiciones	52
4.5.2	Aproximaciones GPS de no - precisión superpuestas	52
4.5.3	Aproximaciones GPS de no precisión autónomas	54
4.6	Aproximaciones GPS de precisión	56
4.6.1	Aproximaciones SCAT-1	56
4.6.2	Aproximaciones SBAS	56
4.7	Salidas Normalizadas con GPS	56
4.8	Implantación de Rutas y Procedimientos GPS en el Caribe	56
4.8.1	Participantes	56
4.8.2	Implantación progresiva del GPS	57
4.8.3	Ejemplos de Aproximaciones GPS de no precisión autónomas	57
CAPÍTULO V		
BENEFICIOS DEL GPS		59
5.1	Introducción	59
5.2	Limitaciones de los sistemas de navegación convencionales	59
5.3	Beneficios del sistema GPS	60
5.3.1	Generalidades	60
5.3.2	Beneficios de seguridad	61
5.3.3	Beneficios operacionales	61
5.3.4	Beneficios por fase de vuelo	63
CAPÍTULO VI		
REQUISITOS PARA LA IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA GPS		65
6.1	Introducción	65

6.2	Normas para el uso del GPS como medio de navegación suplementario	65
6.2.1	Requisitos de equipo y mantenimiento	65
6.2.2	Requisitos de adiestramiento	67
6.2.3	Requerimientos operacionales por fase de vuelo	69
6.3	Normas para el uso del GPS como medio de navegación primario	71
6.3.1	Requisitos de equipo y mantenimiento	71
6.3.2	Previo a la salida	71
6.3.3	Salida y llegada	71
6.3.4	En ruta, área remota/oceánica	72
6.4	Documentación	72
6.4.1	Manuales operacionales de la aeronave/Manuales de piloto	72
6.4.2	Manuales de mantenimiento	72
6.4.3	Manuales de control de operaciones de las líneas aéreas (AOC)	72
6.4.4	Especificaciones de las operaciones	72
CAPÍTULO VII		
FUTURO DE GNSS		73
7.1	Introducción	73
7.2	Uso conjunto de GPS y del GLONASS	74
7.3	GPS diferencial	75
7.4	Sistema de aumentación basada en satélites SBAS	75
7.4.1	Introducción	75
7.4.2	Sistema de aumentación de área ampliada	77
7.4.3	Sistema Global Europeo de Navegación por Superposición EGNOS	79
7.4.4	Sistema Multifuncional de Aumentación Satelital MSAS	80
7.5	Sistema de aumentación basada en tierra GBAS	80
7.5.1	Concepto	80

7.5.2	Sistema Local de Aumentación de Area LAAS	82
7.5.3	Categoría I Especial SCAT – I	83
7.6	Estudio de riesgo del GPS	84
CAPÍTULO VIII		
EL CONCEPTO CNS/ATM		85
8.1	Introducción	85
8.2	Limitaciones de los sistemas CMS/ATM	86
8.2.1	Comunicaciones	86
8.2.2	Navegación	87
8.2.3	Vigilancia	87
8.2.4	Gestión del tránsito aéreo	87
8.3	Componentes y aplicaciones del Nuevo CNS/ATM	89
8.3.1	Comunicaciones	89
8.3.2	Navegación	90
8.3.3	Vigilancia	92
8.3.4	Gestión del transito aéreo	95
8.4	Beneficios del Nuevo CNS/ATM	100
8.4.1	Comunicaciones	100
8.4.2	Navegación	101
8.4.3	Vigilancia	102
8.4.4	Gestión del tránsito aéreo	103
CAPÍTULO IX		
EVALUACIÓN DE EQUIPOS GPS		115
9.1	Introducción	115
9.2	Equipos GPS de a bordo	115
9.3	Equipos diferenciales terrestres	115

9.3.1	Equipo GBAS	117
9.3.2	Equipo SBAS	118
CAPÍTULO X		
ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO		120
10.1	Introducción	120
10.2	Usuarios	121
10.3	Autoridades aeronáuticas	122
CAPÍTULO XI		
PLAN DE IMPLANTACIÓN DEL GNSS		124
11.1	Introducción	124
11.2	Operaciones y procedimientos aprobados	127
11.2.1	Generalidades	127
11.2.2	Operaciones y procedimientos aprobados	128
11.3	Requisitos de explotadores	130
11.3.1	Equipo	130
11.3.2	Capacitación	130
11.3.3	Documentación	131
11.3.4	Miscelánea	131
11.4	Apoyo de las autoridades de aviación civil	132
11.4.1	Equipo	132
11.4.2	Capacitación	132
11.4.3	Desarrollo de rutas GNSS	132
11.4.4	Desarrollo de aproximaciones de no precisión GNSS	133
11.5	Evaluación de resultados	133
CONCLUSIONES		134
ANEXOS		137

GLOSARIO DE TERMINOS

147

BIBLIOGRAFÍA

154

INTRODUCCIÓN

A inicios de la década de los 80. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) reconoció las crecientes limitaciones de los actuales sistemas aéreos ATM (Air Traffic Management), así como la necesidad de efectuar mejoras para superar dichas limitaciones y satisfacer las necesidades del futuro. Así en 1983, el Consejo de la OACI creó el Comité Especial sobre Sistemas de Navegación Aérea del Futuro FANS (Future Air Navigation System), para que estudiara nuevos conceptos y nuevas tecnologías y recomendara un sistema que permitiera superar los problemas tanto actuales como previstos y conducir a la aviación hacia el siglo XXI.

El comité FANS realizó un amplio estudio de los sistemas existentes y de las aplicaciones de las nuevas tecnologías y llegó a la conclusión que las limitaciones de los actuales sistemas eran intrínsecas a los mismos sistemas y restringían la eficaz Administración del Tránsito Aéreo hasta el punto en que los problemas no podrían ser resueltos a escala mundial, salvo con nuevos conceptos y nuevos sistemas CNS (Communication, Navigation, Surveillance) los cuales a su vez, permitirían una Administración del Tránsito Aéreo más eficaz. El comité FANS decidió que la única solución viable para superar las limitaciones del actual sistema y satisfacer las necesidades futuras a nivel mundial y en forma efectiva en términos de costo, era el aprovechamiento de la tecnología Satelital, por consiguiente se inicia con el proceso de la implantación del Sistema Mundial de Navegación por Satélite GNSS (Global Navigation Satellite System).

El GNSS es un sistema de radionavegación basado en satélites, que puede proporcionar información a los usuarios sobre la posición y la hora con una exactitud enorme, en cualquier parte de la Tierra, 24 horas al día y en todas las condiciones climatológicas. El GNSS es un término general que incluye todos los sistemas de navegación por satélites, los que ya están desarrollados y los que serán desarrollados en el futuro, los receptores de las aeronaves y los sistemas de monitoreo de integridad, aumentados de acuerdo a las necesidades de performance de navegación requerida RNP (Required Navigation Performance), para la fase de vuelo.

Se está implantando el sistema GNSS de una manera evolutiva a medida que se realicen los avances tecnológicos. Cuando el sistema GNSS esté completamente desarrollado, se podrá utilizar como único medio de navegación.

El GNSS constituye la parte primordial del Sistema CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management). El GNSS es más preciso que cualquier otro sistema actual de navegación de una forma global con una precisión de nanosegundos (mil millonésima de segundo = 0.000000001). La característica resaltante es su utilización en todas las fases del vuelo, desde un área oceánica o remota hasta una aproximación de precisión de categoría 3, para lo cual será necesario la aumentación del sistema.

La aumentación es la corrección de las señales del GPS (Global Positioning System), por diversos medios en todas las fases de vuelo, de manera de cumplir con parámetros de certificación.

Entre los beneficios del GNSS se destacan:

- ◆ Navegación directa punto a punto
- ◆ Aproximación a la categoría 3 (CAT III)
- ◆ Reducción de la separación RNP

- ◆ Desmantelamiento de las ayudas de navegación terrestres
- ◆ Precisión de tiempo

En la actualidad el GPS de Estados Unidos forma parte del concepto GNSS. En un futuro inmediato el Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) de la Federación Rusa y el Galileo de la Unión Europea formarán parte del sistema GNSS.

CAPÍTULO I

EL ACTUAL SISTEMA DE NAVEGACIÓN AÉREA

1.1 Descripción

El Sistema de Navegación Aérea ANS (Air Navigation System) existente proporciona Servicios de Tránsito Aéreo ATS (Air Traffic Service) internacionales a la aviación civil por medio de proveedores nacionales de servicios de tránsito aéreo en cadena NATS (National Air Traffic Service). La provisión de dichos servicios se basa en la disponibilidad y capacidad de sistemas de Comunicación, Navegación y Vigilancia (CNS), así como Sistemas de Control de Tránsito Aéreo ATC (Air Traffic Control) automatizados. Estas cuatro funciones del ANS cuentan con el apoyo de Servicios de Gestión del Espacio Aéreo ASM (Air Space Management) y de la Organización de la Afluencia del Tránsito Aéreo ATFM (Air Traffic Flow Management) que, considerados en conjunto, constituyen la Organización del Tránsito Aéreo ATM (Air Traffic Management).

El Actual Sistema ANS empezó a utilizarse para la aviación civil en 1946 recurriendo a la tecnología de aquella época en materia de aviónica de a bordo y capacidad CNS. Estos últimos eran, sin excepción alguna, sistemas basados en tierra y en la mayoría de los casos continúan siéndolo.

El organismo encargado de la expansión segura y ordenada de la aviación civil internacional (comprendido el sistema CNS/ATM) mediante el establecimiento de normas mundiales para las aeronaves y los sistemas basados en tierra es la OACI, organismo de las Naciones Unidas integrado por la mayoría de los países que

forman parte de la comunidad aeronáutica internacional en tanto que signatarios (Estados contratantes) del Convenio de Chicago sobre Aviación Civil Internacional

El tránsito aéreo internacional se canaliza a lo largo de rutas aéreas determinadas y cada ruta aérea forma parte de una red situada dentro de una región de información de vuelo FIR (Flight Information Region). El ANS actual proporciona servicios ATS, por medio de la OACI y sus Estados contratantes, en el interior de las FIR que cubren prácticamente la totalidad del espacio aéreo. En la actualidad el espacio aéreo se divide en más de 200 FIR de distintas dimensiones.

El Actual sistema de Navegación Aérea

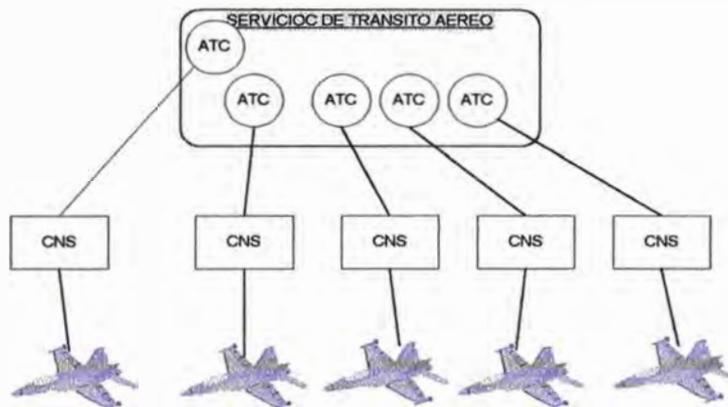


FIG. 1.1

Donde:

ATC (Air Traffic Control) = Control De Tráfico Aereo.

CNS (Communication, Navigation & Surveillance) = Comunicación, Navegación y Vigilancia.

En los sistemas de hoy, los pilotos confían en equipos instalados en tierra que conforman una red omnidireccional de muy alta frecuencia VOR (Very high frequency Omni-directional Range) los que dan indicaciones precisas para seguir las rutas. En áreas no cubiertas por VOR, tales como espacio aéreo remoto u oceánico, los pilotos pueden usar una de las varias ayudas de navegación, incluyendo Señales No-Direccionales NDB (Non-Directional Beacon), Sistemas de Navegación Inercial INS (Inertial Navigation System), Omega, y Loran C.

Para acercamientos de Precisión, los usuarios confían usualmente en el sistema instrumental de Aterrizaje ILS (Instrument Landing System). Colectivamente, estos sistemas proveen la mayoría de servicios de navegación esencial que se necesitan hoy.

Desafortunadamente, todos estos sistemas están basados en una generación tecnológica desgastada con grandes limitaciones tales como de alcance y son muy costosos de mantener y operar (se requiere gran número de ellos para cubrir una determinada área) por estas razones aun existe zonas donde pocas o ninguna asistencia de navegación están disponibles. Su potencial de expansión es limitada, y no hay ninguna expectativa para su crecimiento con las nuevas tecnologías disponibles. Las limitaciones del Actual Sistema son detalladas en el cuadro 1.1.

LIMITACIONES	INS	MLS	ILS	VOR	NDB	DME
Confiabilidad limitada en ciertos lugares			X	X	X	X
Cobertura geográfica limitada		X	X	X	X	X
Navegación directa al destino no factible normalmente				X	X	
Requiere línea de vista al receptor de a bordo		X	X	X	X	X
Terreno impide instalación en algunos lugares		X	X	X	X	X
Equipo terrestre costoso		X	X	X		X
Equipo de aviónica costoso	X	X				
Adecuado solo para ruta	X					

CUADRO 1.1

Donde:

- INS (Instrument Navigation System) = Sistema de Navegacion por Instrumentos.
 MLS (Microwave Landing System) = Sistema de Aterrizaje por Microondas.
 ILS (Instrument Landing System) = Sistema de Aterrizaje por Instrumentos.
 VOR (Very High Freq. Omnidir. Range) = Red omnidireccional de muy alta frecuencia.
 NDB (Non Directional Beacon) = Radiofaro No direccional
 DME (Distance Measuring Equipment) = Equipo Radiotelemétrico

CAPÍTULO II

FUNCIONAMIENTO DEL GNSS

2.1 Funcionamiento básico de los sistemas GPS y GLONASS

2.1.1 Segmentos del Sistema GNSS

Los Sistemas GPS y GLONASS incorporan tres segmentos muy parecidos:

Segmento del espacio:

Este segmento está constituido por 24 satélites en cada uno de los sistemas. Los planos orbitales, tiempos de órbita, inclinación de la órbita, etc. Son diferentes en los dos sistemas.

Segmento de control:

Este segmento efectúa la vigilancia y control de las funciones del sistema. El segmento consta de una estación maestra, estaciones de seguimiento de los satélites y estaciones para transmisión de mensajes de navegación y control. Los datos sobre tiempos y órbitas de los satélites son obtenidos por las estaciones de seguimiento y pasados a la estación maestra. La estación maestra analiza estas señales y obtiene información sobre las condiciones de los satélites. Las correcciones son efectuadas y transmitidas a los satélites para que estos mantengan la precisión y sincronización horaria. La operación del sistema requiere la sincronización muy precisa de los relojes del satélite con los relojes del sistema terrestre.

Segmento del usuario:

Este segmento está representado por los receptores de a bordo. Actualmente hay receptores disponibles para el sistema GPS, pero no hay todavía para el GLONASS.

2.1.2 Determinación de la posición

Aunque los sistemas GPS y GLONASS emplean una tecnología compleja muy avanzada, los principios básicos de operación de los sistemas son sencillos. La determinación de la posición se basa en la medición de la distancia a los satélites. Tal como podemos imaginar una posición por medio de la medición de distancia desde una estación DME con base en tierra, podemos utilizar mediciones de distancia desde satélites para obtener una posición exacta.

El satélite emite señales de radio, las cuales se desplazan a la velocidad de la luz (186,000 millas por segundo), así es que aplicando la formula:

$$\text{Distancia} = \text{velocidad} \times \text{tiempo}$$

Se determina a que distancia se encuentra el receptor terrestre, del satélite.

Hacer una medición de esta naturaleza basada en un solo satélite proporcionaría al receptor una posición en alguna parte de una esfera centrada en la posición del satélite en el espacio (Fig. 2.1) Con una segunda medición se podría ver la intersección de las esferas A, B (Fig. 2.2) y mediante el uso de una tercera medición se puede obtener una posición que corresponde a la intersección de las tres esferas (Fig. 2.3).

MEDICIÓN EFECTUADA DESDE UN SATÉLITE

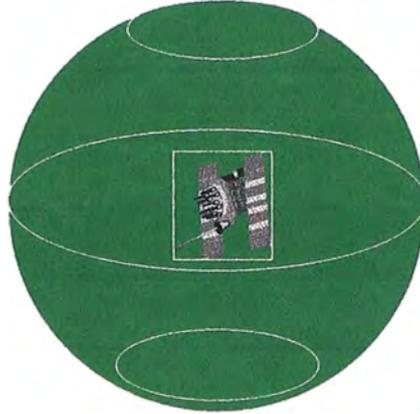


FIG. 2.1

MEDICIÓN EFECTUADA DESDE DOS SATÉLITES

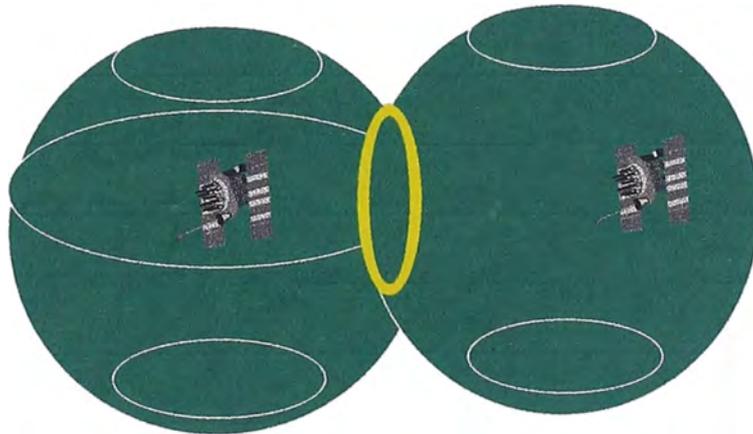


FIG. 2.2

MEDICIÓN EFECTUADA DESDE TRES SATÉLITES

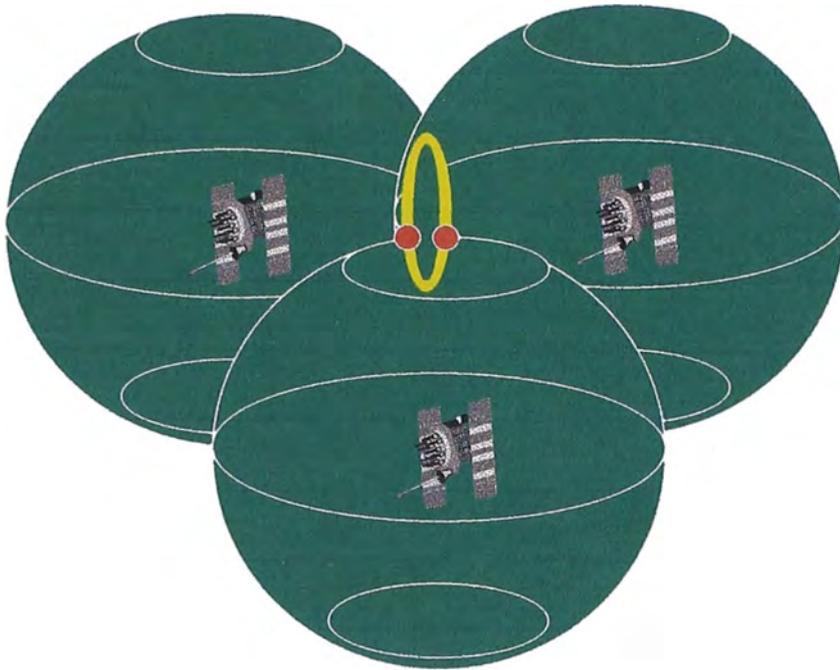


FIG. 2.3

La aeronave está ubicada en donde se cruzan los alcances de cada satélite. Con tres mediciones, puede haber solamente dos puntos en el espacio en que puede localizarse el receptor. Uno de estos es generalmente una respuesta absurda que la computadora del receptor de GPS o GLONASS descarta automáticamente con respecto a la hora del reloj del satélite.

Para que funcione este sistema, las mediciones de tiempo deben ser muy precisas y los relojes deben ser muy exactos, ya que la señal emitida por un satélite con buena geometría le tomara solo 6/100 de segundos alcanzar al receptor.

Dentro de los satélites, se logra esta exactitud mediante el uso de relojes atómicos que tienen precisiones medidas en nanosegundos. El uso de un reloj atómico en un receptor no solo sería impracticable, sino sería muy costoso; por lo

que los receptores emplean un modelo matemático para obtener la hora precisa del sistema de satélites y determinar así la posición exacta.

Para obtener una posición y un tiempo preciso, el receptor toma una medición de distancia desde un cuarto satélite. En caso de que el reloj del receptor se adelante o se atrase, no habrá ningún punto en el espacio en el cual se crucen todas las mediciones de distancia. Cada medición tendrá un error que es ocasionado por la diferencia en la hora del receptor con respecto a la hora del reloj del satélite.

El error sería igual para todas las mediciones, por lo que la computadora del receptor la corregirá automáticamente permitiendo que todas se intercepten en un solo punto. Al efectuar esto, calcula el error del reloj y aplica la corrección apropiada.

Los satélites de los sistemas GPS y GLONASS están ubicados en órbitas muy precisas y predecibles. Los satélites giran alrededor de la Tierra cada doce horas aproximadamente, y pasan sobre una de las estaciones de control dos veces al día.

Dichas estaciones están equipadas para calcular con exactitud la posición del satélite, su altura y velocidad enviando información actualizada, de vuelta al satélite. Los satélites transmiten al receptor su información de posición con relación al centro de la Tierra, junto con las señales horarias.

El receptor procesa esta información, con su modelo matemático interno de la Tierra, para calcular una posición con relación a la superficie de la misma, la cual será expresada en términos de latitud y longitud.

2.1.3 Satélites

DATOS	GPS BLOCK II A	GPS BLOCK II R	GLONASS
Altura	10.900 NM	10.898 NM	19.100 Km.
Peso	1.850 lb.	2.370 lb.	1.800 lb.
Energía	Solar/Batería	Solar/Batería	Solar/Batería
Orbita	11:56	-----	11:15
Vida	7.5 años	12.5 años	3-5 años

Tabla 2.1

Satélite Block II R:

El cuarto satélite de esta nueva serie ha sido colocado en órbita como parte de la constelación GPS. Estos satélites construidos por la Lockheed-Martin son puestos en órbita por los cohetes Delta II de la Boeing. Han sido contratados 17 satélites adicionales de esta misma serie, debido a su larga vida y los modernos equipos con los que cuenta (ver tabla 2.1).

Al mismo tiempo dos viejos satélites Block II A han sido removidos de servicio debido a inestabilidad en el reloj atómico y fallas de componentes.

2.2 Descripción del Sistema GPS

2.2.1 Desarrollo del sistema

Este sistema fue desarrollado y operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos DOD (Department of Defence USA), y co-administrado por el Departamento de Transporte DOT (Department of Transport). El DOD tiene un convenio con la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos FAA (Federal Aviation Administration) para poner al servicio de los usuarios civiles dicho sistema.

Los Estados Unidos se han comprometido con la OACI para poner a disposición el sistema GPS para uso civil, sin cargo alguno, por un mínimo de diez años. El gobierno Norteamericano ha declarado también que dará aviso con seis

años de anticipación, la intención de eliminar dicho convenio.

2.2.2 Segmentos

El sistema de navegación por satélites GPS esta compuesto de tres segmentos (Fig. 2.4):

Segmento del espacio:

Está constituido por 24 satélites colocados en seis planos orbitales de 4 satélites cada uno, con una inclinación de 55 grados con respecto al ecuador, orbitando la Tierra cada 11 horas 58 minutos, a una altitud de 10,900 millas. Los satélites están dispuestos de tal manera que un mínimo de 5 se encuentran a la vista, en forma simultánea.

Envían señales continuas en dos diferentes frecuencias:

- L1: *Standard Positioning Service* 1575.42 MHz.
- L2: *Precise Positioning Service* 1227.60 MHz.

Segmento de control:

Este es controlado por la Estación Maestra ubicada en los Estados Unidos, la cual emplea estaciones de monitoreo ubicadas alrededor del mundo, para controlar y transmitir información a los satélites GPS. Estas estaciones reciben información pasiva de los satélites, la cual es transmitida a la estación maestra, formulando y actualizando el mensaje de navegación de los mismos. Dicha actualización incluye datos de efemérides (posición del satélite) y correcciones de tiempo.

Segmento del usuario:

Consiste de una antena y un receptor-procesador que utiliza el mensaje recibido de los satélites para calcular posición, velocidad y tiempo, de forma continua y global en todo tipo de condiciones meteorológicas.

SEGMENTOS DE SISTEMA GPS

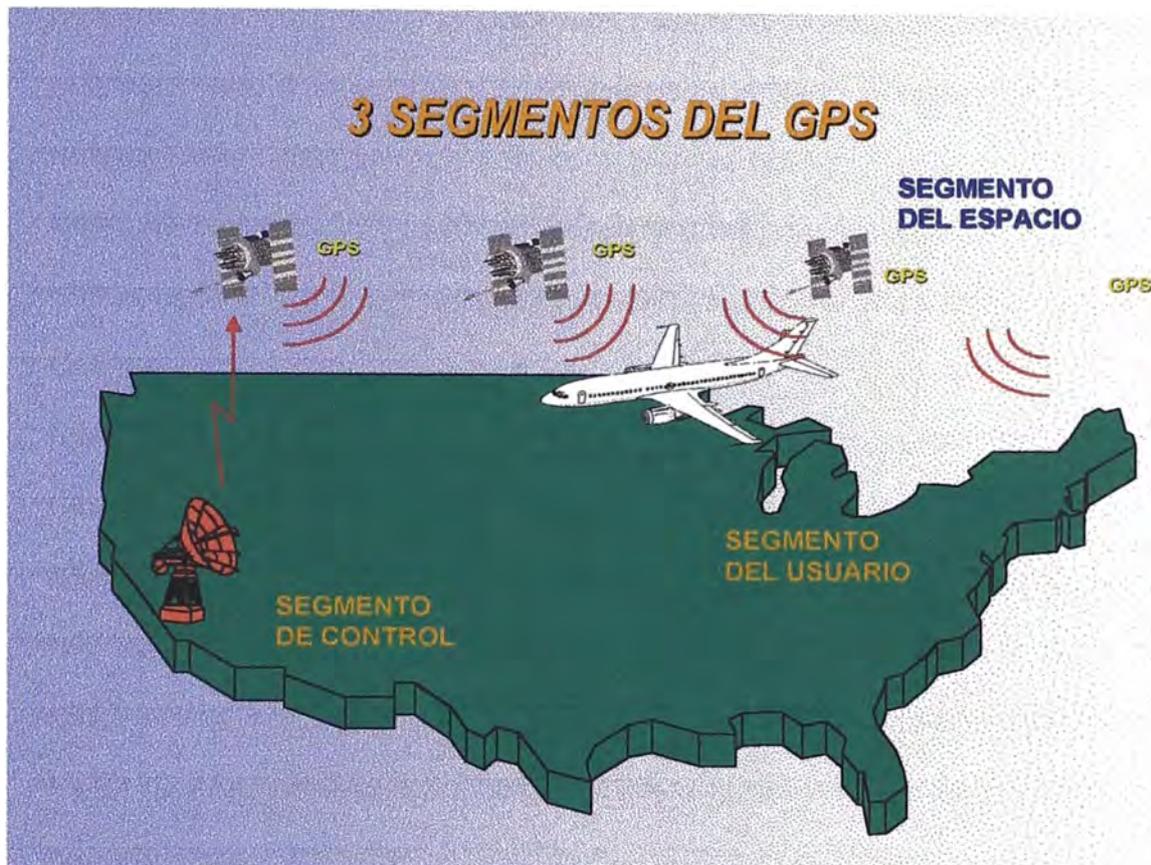


FIG. 2.4

2.2.3 Cronología del GPS

- **1983** El Presidente Reagan ordena el ofrecimiento del GPS para uso civil después de la destrucción de KAL 007
- **1988** La OACI aprueba el concepto GNSS como el sistema de navegación del futuro (FANS)
- **1989** Lanzamiento del primer satélite operacional GPS
- **1991** Estados Unidos ofrece el GPS como componente del GNSS
- **1992** Estados Unidos re-ofrece el GPS por un mínimo de 10 años
- **12/1992** La FAA publica el documento TSO-C129 con los requerimientos de fabricación de la aviónica GPS

- **17/12/93** Con autorización especial, Continental Express ejecuta la primera aproximación GPS de no-precisión con pasajeros (boletos pagados) en Aspen, Colorado con un avión ATR. El procedimiento privado incorpora un ángulo de descenso de 6 grados.
- **2/1994** El sistema GPS es declarado operacional para usuarios civiles
- **1/5/94** La FAA certifica la primera ruta GPS autónoma entre Denver Aspen en Colorado
- **20/6/94** La FAA certifica la primera aproximación GPS de no- precisión para helicóptero en Chattanooga
- **8/94** La FAA certifica la primera aproximación GPS de no-precisión autónoma para avión (para uso público)
- **26/10/1994** OACI acepta la oferta de la FAA para el uso del sistema GPS
- **12/94** La FAA autoriza el uso del GPS como medio de navegación primario en áreas remotas/oceánicas
- **24/12/94** Primer uso de una ruta GPS autónoma en el CAR/SAM por American Eagle (San Juan – Anguilla)
- **8/1995** Primer uso de FANS en el Pacífico con un Boeing 747
- **12/1996** Se certifican la primera y segunda aproximación GPS de no-precisión autónoma en la región CAR/SAM (Tortola, BVI)
- **4/1997** Se certifican la tercera y cuarta aproximación GPS de no-precisión autónoma en la región CAR/SAM Port-Au-Prince, Haiti.
- **5/2000** El Presidente Clinton elimina la Disponibilidad Selectiva (SA)

2.3 Descripción del Sistema GLONASS

2.3.1 Desarrollo del Sistema

El Sistema Global de Navegación Satelital Orbital ha sido desarrollado por la

Federación Rusa. Este ofrece señales desde el espacio para la determinación precisa de posición, velocidad y tiempo.

Esta cobertura es continua alrededor del globo terrestre y en toda clase de condiciones meteorológicas. Este Sistema utiliza la referencia geográfica SGS-90 conocido también como PZ-90. Se necesita de 4 satélites a la vista para obtener la información de posición en tres dimensiones (3D). Los satélites GLONASS son identificados por frecuencias específicas L1, pero transmiten el mensaje navegacional en diferentes frecuencias de la banda L.

2.3.2 Segmentos

El GLONASS, al igual que el GPS, está compuesto de tres segmentos.

Segmento del espacio:

Está constituido por 24 satélites en tres planos orbitales con una inclinación de 64.8 grados con relación al ecuador, y con 8 satélites en cada órbita a una distancia de 19.100 Km. El período orbital de los satélites es de 11 horas 15 minutos.

Segmento de control:

Al igual que en el GPS, los datos obtenidos por las estaciones de seguimiento son procesadas en la estación maestra para calcular los datos de navegación, los cuales son transmitidos a los satélites por medio de las estaciones de envío (upload stations). Una de las funciones importantes de la estación maestra de control es la de mantener la sincronización precisa de los relojes satelitales con el sistema de tiempo del GLONASS.

Segmento del usuario:

Consiste de los receptores GLONASS, los cuales no están disponibles para uso civil.

2.4 Uso conjunto del sistema GPS y del GLONASS

Con la integración prevista de los dos sistemas, los receptores GPS/GLONASS

cubrirán ciertas situaciones que los dos sistemas por si solos no pueden solucionar. Con los dos sistemas integrados se tendrá una mayor rapidez de recepción de señales debido al mayor número de satélites a la vista, mínimo 9, en cualquier localidad. Una de las ventajas del sistema GLONASS sería el conseguir una mayor cobertura en ambientes con muchas obstrucciones.

Ambos sistemas se complementan debido a la diferencia en número de planos orbitales y su inclinación. El GLONASS favorece la navegación a latitudes extremas mientras que el GPS a las latitudes medias.

Un receptor con capacidad para funcionar con ambos sistemas, tendrá la ventaja operacional de captar un mayor número de satélites con mejor geometría.

2.5 Sistema Galileo

La Comisión Europea ha propuesto que Europa desarrolle a partir del año 2008 una constelación de satélites de navegación independientes, pero completamente interoperables con el GPS.

Los Estados Unidos por su parte, han anunciado que los primeros satélites GPS Block II F serán lanzados a partir del año 2005.

Las operaciones en el espacio aéreo son por su naturaleza globales, por lo tanto, es del interés de la comunidad aeronáutica el desarrollo de sistemas que provean servicio seguro y eficiente, compatible e interoperable de manera de utilizar la misma aviónica.

Es la política de Eurocontrol, siguiendo el objetivo general de la OACI acerca del concepto CNS/ATM, estimar que el GNSS será el único medio en el futuro, de navegación, de información de posición y de hora para todas las fases del vuelo, incluyendo operaciones de precisión categoría 2 y 3 (CAT II/III). Esto solamente será posible por medio de la aplicación de una estrategia mundial de desarrollo del GNSS entre OACI, FAA, fabricantes y usuarios.

Es por esto, que tanto el Sistema Galileo como el GPS Block IIF deberán ser implementados de una manera coordinada, de tal modo que se asegure a los usuarios su total interoperabilidad y redundancia, para así proveer, el nivel requerido de confiabilidad, evitando fallas comunes entre los mismos.

2.6 Espectro de Frecuencia GPS

El uso de frecuencias de radio es controlada por la International Radio Regulations (IRR) y publicada por la International Telecommunications Union (ITU), agencia especializada de las Naciones Unidas, la cual tiene 188 Estados miembros con derecho de voto. La asignación de las frecuencias de radio se deciden en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicación WRCs (World Radiocommunications Conferences), realizadas cada dos o tres años.

Las señales GPS (L1, L2 y L5) operan en la banda de frecuencia destinada por la ITU las frecuencias básicas primarias de Servicio de Radionavegación Aeronáutica y Servicios de Radionavegación Satelital ARNS/RNSS (Aeronautical Radio Navigation Service/ Radio Navigation Satellital Service). La señal GPS L1 tiene ambas, una ARNS (reconocida por la OACI como importante para asegurar vidas) y una RNSS que es la señal civil de los productos GPS.

Debido a la gran importancia económica del espectro de banda de 1 a 3 GHz (1559-1610 MHz) en donde se encuentra las señales GPS, GLONASS y Galileo; ha sido necesario gran esfuerzo por parte de la comunidad aeronáutica mundial a fin de preservarlas libres de interferencia.

La Junta Ejecutiva de GPS ha recomendado la inclusión de otra frecuencia para uso civil en la nueva generación de satélites Block IIF. Esta beneficiará al WAAS.

En la WRC 2000 se dispuso la nueva asignación de las frecuencias RNSS 1164-1212 MHz para GPS L5 y Galileo E5.

Existe un reconocimiento mundial de la importancia de esta banda de frecuencias, por lo que representa desde el punto de vista de seguridad, por lo tanto, la protección de ella requiere de un esfuerzo continuo de educación y vigilancia por parte de la comunidad internacional.

A pesar de ello, esta banda es muy susceptible a interferencias (RFI), la cual puede provenir de transmisiones VHF, televisión, localización de antena, etc. La FAA y el DOD han tomado medidas con la finalidad de reducir interferencias potenciales y anomalías a las señales GPS.

2.7 NOTAM/NANU (*Notification Advisory for Navstar Users*)

Los NOTAMs (Notices To Airmen) brindan información, la cual es esencial para la seguridad del vuelo. La norma exige para el uso del GPS como medio de navegación, la información oportuna a los pilotos en la fase pre-vuelo de la ubicación y duración de los períodos de interrupción de funcionamiento de un satélite. Esto puede predecirse con la ayuda de un análisis computarizado.

Hasta que no se implemente el WAAS, la integridad del GPS estará dada por algoritmos dentro del receptor RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring).

Los satélites de forma ocasional necesitan salir de servicio por mantenimiento, reduciendo la disponibilidad del RAIM. El GPS difiere de los sistemas tradicionales de navegación, debido al hecho que los satélites y las áreas de cobertura degradada están en constante movimiento, por lo tanto, si falla un satélite; si es sacado de servicio por mantenimiento, no se conocerá por intuición cuáles son las áreas afectadas; de haber alguna:

Esta información será suministrada con un mínimo de 48 horas de antelación, de manera de interpretar y brindar la información en un formato que tenga utilidad para el piloto, ya que no es suficiente con reportarle cuál satélite está fuera de servicio sino donde y cuando ocurrirá la interrupción.

Estos NOTAMs reformateados se denominan NANU: Notificaciones Informativas para los Usuarios de Navstar.

Debido a que el GPS es un sistema de navegación, el mejor método para presentar esta información es a través de una gráfica. Existen diferentes sistemas para esto, entre ellos: el AUGUR de Eurocontrol.

CAPÍTULO III

OPERACIONES DISPONIBLES CON EL GPS

3.1 Introducción

Las operaciones disponibles con el GPS están determinadas por el cumplimiento de los cuatro requisitos de performance:

- Exactitud
- Integridad
- Disponibilidad
- Continuidad

3.2 Requisitos de Performance

3.2.1 Generalidades

Toda ayuda de navegación para ser usada en condiciones de vuelo , debe cumplir con ciertos parámetros para ser certificada. El GPS ha sido certificado como medio suplementario y primario, pero él por sí mismo no cumple con todos los requerimientos. Los parámetros a ser cumplidos por el GPS incluyen integridad, disponibilidad, exactitud y continuidad. Para aprobar un sistema como suplementario, deberá cumplir con ciertos requerimientos de exactitud e integridad.

Dado que el GPS cumple con la exactitud requerida como medio suplementario de navegación, queda pendiente el cumplimiento de la integridad.

La TSO-C129 de la FAA (documento que identifica los requisitos para certificar aviónica GPS para uso suplementario en ruta y para aproximaciones de no precisión) autoriza al RAIM (*Receiver Autonomous Integrity Monitoring*) para

proveer de integridad al GPS, cumpliendo así, con los requisitos exigidos para ser certificados como medio suplementario de navegación.

3.2.2 Exactitud

Es el nivel de conformidad entre la posición/velocidad calculada de una aeronave y la verdadera. Los sistemas GNSS están sujetos a errores, los cuales reducen la precisión de la información suministrada. A continuación se detallan algunos tipos de errores:

- **Error ionosférico:** ocurre durante el paso de la señal del satélite a través de la ionosfera. La ionosfera es una capa de partículas cargadas eléctricamente, situadas a una altitud de 130 a 190 Km. de la superficie terrestre. Las señales provenientes del satélite se desaceleran al cruzar esta capa, dependiendo de la hora, actividad solar, etc. Sin embargo, estas demoras pueden predecirse y aplicarle corrección.
- **Error atmosférico:** ocurre cuando la señal del GPS se desacelera en su paso a través de la atmósfera cargada de vapor de agua.
- **Disponibilidad selectiva SA (Selective Availability):** error introducido intencionalmente por los Estados Unidos con fines estratégicos. Desde Mayo del 2000 ha sido removido.
- **Error del receptor:** inducido al procesar las señales satelitales.
- **Error de efemérides (posición):** se refiere a la diferencia de posición transmitida por un satélite con respecto a su posición verdadera.
- **Dilución geométrica de precisión:** error de posición dependiendo de la geometría de los satélites utilizados.

3.2.3 Integridad

Está basada en el lapso de tiempo que toma el notificar al piloto que el sistema en uso ha fallado. El tiempo de certificación para un sistema de navegación en ruta

es de 6 segundos y en caso de aproximación 3 segundos.

3.2.4 Disponibilidad

Es la proporción de tiempo total en el cual el sistema está disponible desde el punto de vista operativo. Aún cuando existan suficientes satélites (5 o más) a la vista y se use la ayuda barométrica de manera de incrementar la disponibilidad, ciertas limitaciones previenen al receptor de usarlos todos debido a problemas de geometría, información corrupta, satélites inoperativos, etc.

3.2.5 Continuidad

Es la probabilidad de que un sistema de navegación continuará disponible durante una fase de vuelo asumiendo que se disponía del mismo al iniciarlo. La continuidad es una función mas relacionada con aproximaciones instrumentales que en ruta, debido a su criticidad.

3.3 Medio único de navegación

3.3.1 Definición

Se está desarrollando el sistema GNSS para llegar a ser un medio de navegación único, el cual OACI lo define así: "Un sistema de navegación aprobado como medio único para determinada operación o fase del vuelo, debe posibilitar a la aeronave y satisfacer, en dicha operación o fase del vuelo, los cuatro requisitos de performance del sistema de navegación: exactitud, integridad, disponibilidad y continuidad de servicio".

En la tabla 3.1 se indica valores de los requisitos de performance para aproximaciones de precisión y de no precisión. En la tabla 3.2 se muestra los sistemas que son considerados como medios únicos dependiendo de la fase de vuelo.

REQUISITOS	SALIDA, EN RUTA, LLEGADA, APROX NO PRECISION	APROX PRECISION CAT I
Exactitud		7.6 m
- Horizontal	100 m	7.6 m
- Vertical	No hay criterio	
Integridad	10 –7 por hora	4x10 – 8 por aprox.
Disponibilidad	.999	.999
Continuidad	10 – 8 por hora	,99995 por aprox.

Tabla 3.1

Los Sistemas de Navegación que son autorizados como medio único son:

SEGMENTO	INS	MLS	ILS	VOR	NDB
Salida	X			X	X
En ruta	X			X	X
Llegada	X			X	X
Aprox. no precisión				X	X
Aprox. Precisión		X	X		

Tabla 3.2

3.3.2 Cumplimiento del GPS con los requisitos de performance:

El sistema GPS actualmente no cumple ninguna fase del vuelo con los cuatro requisitos de performance para ser usado como medio único de navegación.

A. Exactitud

El GPS actual cumple con el requisito exactitud horizontal para ser utilizado como medio único de navegación para la salida, en ruta, llegada y aproximación de no-precisión. No cumple con el requisito de exactitud horizontal ni vertical para ser utilizado como medio único de navegación para una aproximación de precisión de categoría 1 (CAT I). En la Tabla 3.3 se muestra los valores para las diferentes fases de vuelo.

FASE DEL VUELO	REQUISITO	SISTEMA GPS ACTUAL
Salida, en ruta, llegada, aprox. de no precisión	Horizontal: 100 m	Horizontal, SA desactivado: 15-20 m
	Vertical: no hay criterio	Vertical, SA desactivado: 20-25 m
Aproximación de precisión CAT I	Horizontal: 7.6 m	Horizontal, SA desactivado: 15-20 m
	Vertical: 7.6 m	Vertical, SA desactivado: 20-25 m

Tabla 3.3

B. Integridad

Los sistemas RAIM y FDE (Fault Detection and Exclusion) proporcionan la integridad requerida para utilizar el GPS como medio único de navegación durante las fases de salida, en ruta, llegada y aproximaciones de precisión y no-precisión.

- Receptor Autónomo de Monitoreo de Integridad (RAIM) Receiver Autonomos Integrity Monitoring

El RAIM es la capacidad que tiene un receptor GPS, para verificar matemáticamente, la integridad del GPS, determinando si un satélite está transmitiendo información corrupta. El RAIM necesita 5 satélites a la vista y en buena geometría, para poder determinar si uno de ellos está defectuoso.

Aunque la vigilancia de los satélites por parte de las estaciones terrestres es constante, el tiempo entre la detección y aviso del fallo de un satélite puede ser de varias horas. Consecuentemente, sin cierto monitoreo de integridad adicional, un error de reloj o efemérides, por ejemplo, puede tener un efecto significativo sobre cualquier sistema de navegación que utilice a ese satélite en particular.

El monitoreo de integridad adicional es proporcionado por el RAIM, el cual es requerido según la disposición técnica normalizada de la FAA TSO-C129 para

vuelos instrumentales IFR (Instrument Flight Rules). El RAIM detecta la falla de la señal de un satélite del GPS, comparando la información sobre posición y tiempo obtenida de diversas combinaciones de cuatro satélites en un conjunto de por lo menos cinco satélites visibles. De esta manera, puede detectarse un satélite defectuoso y dar una advertencia al piloto. Puesto que el sistema RAIM no incorpora la capacidad de cancelar el satélite defectuoso, no debe seguir usándose la navegación GPS cuando el RAIM detecta dicha falla.

En la Tabla 3.4 se resume el número de satélites requeridos para obtener diversas informaciones y capacidades.

INFORMACION PROPORCIONADA	REQUERIMIENTOS
Posición en dos dimensiones y hora	3 satélites más altitud barométrica Circular 267-AN/1 59
Posición en tres dimensiones y hora	4 satélites Circular 267-AN/1 59
Posición y hora, RAIM activo	5 o 4 con altitud barométrica
Posición y hora, RAIM activo, FDE puede Cancelar el satélite defectuoso	6, o 5 con altitud barométrica

Tabla 3.4

Ayuda barométrica: es el proceso mediante el cual la información sobre la altitud barométrica de las aeronaves se proporciona al equipo de GPS, el cual simulará a un satélite ubicado directamente encima de la misma. Esto permite que el número de satélites requeridos para ciertas funciones se reduzca por uno.

- Identificación y exclusión de una falla (FDE) *Fault Detection Exclusion*

FDE es la tecnología aprobada por la FAA en el Aviso 8110.60(Documento que identifica los requisitos de equipo y procedimientos para utilizar el GPS como medio de navegación primario en áreas oceánicas y remotas), la cual permite cancelar un satélite defectuoso y continuar navegando con el GPS, siempre y cuando existan suficientes satélites disponibles. Aunque no requiere el TSO-C129 vigente la incorporación del FDE en los equipos GPS de a bordo, la mayoría de los nuevos receptores incorporan el FDE.

C. Disponibilidad

La disponibilidad del sistema GPS actual varía entre 95-98% según las latitudes, lo cual es insuficiente para su uso como un medio de navegación único.

3.4 Medio de Navegación Suplementario y Primario

Aunque el GPS no puede ser usado aún como medio “único de navegación”, se han creado normas para usarlo como medio suplementario y medio primario.

3.4.1 Sistema de navegación como medio suplementario

“Sistema de navegación que debe utilizarse conjuntamente con un sistema de navegación como medio único. La aprobación de medios suplementarios para determinada fase del vuelo exige que se transporte a bordo un sistema de navegación como medio único para dicha fase del vuelo.

Entre los requisitos de performance del sistema de navegación para determinada operación o fase del vuelo, un sistema de navegación como medio suplementario debe satisfacer los requisitos de exactitud y de integridad para tal operación o fase del vuelo. No se impone satisfacer los requisitos de disponibilidad y de continuidad.

3.4.2 Sistema de navegación como medio primario

“Sistema de navegación aprobado para determinada operación o fase de vuelo

que debe satisfacer los requisitos de exactitud y de integridad pero que no es necesario que satisfaga los requisitos de plena disponibilidad y continuidad del servicio. Se mantiene la seguridad limitando los vuelos a períodos específicos de tiempo, y mediante restricciones reglamentarias apropiadas.

3.5 Operaciones GPS aprobadas por la FAA

La FAA ha autorizado el uso del GPS como:

Medio de navegación suplementario en el área terminal, en ruta y para aproximaciones de no - precisión .

- Medio de navegación primario en ruta, en áreas remotas y oceánicas.
- Medio primario para aproximaciones de no - precisión, con ciertos requisitos.
- Medio único para aproximaciones de precisión Categoría I Especial, SCAT-I.

La TSO-C129 de la FAA contempla dos diferentes tipos de certificación para los receptores, de acuerdo a la fase de vuelo a ser usados, estableciendo las características mínimas que deben exhibir los mismos para ser utilizados en condiciones de vuelo instrumental (IMC)

La TSO-C129 constituye la única garantía para proveer de integridad al GPS, para los efectos de ser usado como medio de navegación suplementario, por lo tanto continuará vigente hasta que éste sea aumentado. Esta, actualmente es cumplida por el RAIM o también por el DME-DME y el INS/IRS (Inercial Navigation System/Inercial Reference System) como equivalentes para proporcionar la integridad requerida.

3.6 Aprobación de la OACI con respecto al uso del GNSS

La OACI aprueba el uso del GNSS en la Circular 267-AN/159 *Directrices Para La Introducción Y Uso Operacional Del Sistema Mundial De Navegación Por Satélite (GNSS)*, "...el Estado tiene la autoridad jurídica para implantar el GNSS en la etapa en la que el programa transcurre a través del proceso de la OACI."

El documento añade "Mientras se elaboran las normas y métodos recomendados SARPs (Standars and Recommended Practices), los Estados pueden obtener los primeros beneficios de la tecnología de satélites ateniéndose a estos textos de orientación."

Además se respalda la "...utilización de los sistemas de navegación por satélite existentes como medios suplementarios a corto plazo, incluso para aproximaciones que no son de precisión. Además, la disponibilidad mejorada de la integridad de navegación junto con requisitos interiores de disponibilidad para la fase en ruta (oceánica/remota) podría facilitar el uso de sistemas por satélite como medios primarios en esta fase del vuelo. Cuando se dispone de la aumentación basada en tierra requerida, pueden emplearse los sistemas por satélite para la aproximación de precisión de Categoría I Especial."

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE RUTAS Y PROCEDIMIENTOS GPS

4.1 Introducción

La FAA ha publicado los requisitos para el desarrollo de procedimientos GPS, los cuales han sido respaldados interinamente por la OACI en la Circular 267-AN/159. En este capítulo se describen:

- El Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS-84);
- El desarrollo de rutas GPS;
- El desarrollo de aproximaciones GPS de no precisión;
- El desarrollo de aproximaciones GPS de precisión;
- El desarrollo de salidas normalizadas con GPS; y
- El desarrollo de rutas y procedimientos GPS en el Caribe.

4.2 Sistema Geodésico Mundial WGS-84 (World Geodetic System 1984)

Los primeros problemas en navegación aérea relacionados con las diferentes referencias geodésicas fueron experimentados en Europa. Esto se traduce en que la posición horizontal de una aeronave será diferente en la pantalla de radar de controladores utilizando referencias diversas. Existen múltiples referencias geodésicas en el mundo de acuerdo al modelo empleado: elipsoide o geoide.

Para las aeronaves que usan los medios de navegación convencionales terrestres tales como: VOR o NDB, estas diferencias no tienen efecto significativo, sin embargo, este cambia dramáticamente al utilizar sistemas RNAV en las áreas con valores reducidos de RNP, en la cual se requiere de gran precisión. Esto ha

conducido a que la OACI haya establecido como solución al problema, el uso de un sistema común de referencia para la aviación civil, el WGS-84.

WGS-84 es la referencia geodésica utilizada por el GPS, la cual ha sido aceptada y aprobada por OACI. Consecuentemente, todas las aproximaciones que se intenten efectuar mediante el uso del GPS, deberán ser diseñadas siguiendo esta referencia.

Se utilizan actualmente en el mundo más de 100 referencias geodésicas o datums para elaborar cartas topográficas y cartas aeronáuticas. La posición de un punto de viraje o una cabecera puede variar hasta más de 2,000 metros según el datum que se utilice para determinar las coordenadas de estos puntos. Con los sistemas de navegación convencionales (INS, IRS, MLS, ILS, VOR, NDB), no influye de manera significativa el datum que se utiliza para determinar las coordenadas de los puntos de viraje, las cabeceras, los obstáculos y los demás puntos en un aeropuerto debido a lo siguiente:

- Cuando se utilizan los sistemas VOR o NDB para navegar en ruta y durante la aproximación, las señales del VOR o del NDB definen las derrotas (radiales) desde/ hacia la radioayuda. No figura en éste tipo de navegación ningún datum ni coordenada. Lo mismo se aplica para aproximaciones ILS y MLS
- Cuando se utilizan los sistemas INS, IRS y LORAN para la navegación en ruta sí figura el datum, es utilizado para determinar las coordenadas de los puntos de viraje, pero normalmente de manera no significativa.

Además, normalmente no presenta ningún riesgo el uso del GPS para navegar las rutas existentes. El avión que navegue con el GPS, volará algo desplazado del centro de la ruta, pero estas variaciones no son significativas en las rutas actuales. Por otra parte, son sumamente importantes estas variaciones cuando se utiliza el GPS para aproximaciones, ya sean de precisión ó de no precisión; y para navegar

rutas que incorporan una separación lateral reducida entre aeronaves, es decir los Sistemas de Navegación de Área (RNAV) y de Performance Requerida de Navegación (RNP). Por consiguiente, estas discrepancias ya no podrán tolerarse y exigirán la introducción de un sistema común de referencia geodésica en la aviación civil mundial.

La OACI ha dirigido en el Anexo 15, párrafo 3.4.4.1 lo siguiente: "A partir de la fecha de aplicación del 1 de enero de 1998, las coordenadas geográficas publicadas que indiquen la latitud y la longitud se expresarán en función de la referencia geodésica del Sistema Geodésico Mundial - 1984 (WGS-84)."

Todas las rutas y los procedimientos GPS deberán estar basados en puntos de viraje que reflejan el datum WGS-84, puesto que las indicaciones proporcionadas al piloto por la aviónica GPS están basadas en éste. Por lo contrario, en algunas partes del mundo un avión que ejecuta una aproximación utilizando coordenadas de otro datum podría encontrarse hasta 2,000 metros al lado del curso final, o 2,000 metros más allá del punto de ejecución del procedimiento de aproximación frustrada.

Para la mayoría de los Estados, no es factible utilizar el *software* para transformar las coordenadas y elevaciones del datum vigente a WGS-84 por las siguientes razones:

- La precisión de las coordenadas/elevaciones existentes es desconocida o insuficiente;
- Con algún datum, la transformación no es muy precisa;
- En algunos casos se han desarrollado varios levantamientos aeroportuarios a través de años, y no todos fueron ejecutados con referencia al datum principal del país;
- En algunos casos no se ha desarrollado un levantamiento aeroportuario desde

hace muchos años, y es posible que hayan sido instalados edificios o torres que afectarían el diseño procedimientos nuevos;

- Finalmente, el *software* de transformación fue desarrollado únicamente para transformaciones burdas, para ser usados posiblemente para la fase en ruta; nunca se contempló usarlos para el área terminal ni para las aproximaciones.

Consecuentemente, para la mayoría de Estados el mandato del Anexo 15 requerirá la realización de un nuevo levantamiento geodésico del aeropuerto y de los obstáculos.

En general se definen dos grupos de posiciones de navegación aérea cuyas coordenadas son de interés y deberán ser actualizadas mediante alguno de los métodos reconocidos (Tabla 4.1).

COORDENADAS AREA/ EN RUTA	COORDENADAS AERODROMOS Y HELIPUERTOS
Puntos de Rutas ATS/RNAV	Pto. de referencia del aeródromo
Puntos de circuitos de espera	Umbral de pista
Radioayudas en ruta	Radioayudas terminales
Areas restringidas/prohibidas/peligrosas	FAF, FAP, IAP, etc.
Obstáculos en ruta	Puntos de centro de pista
Límite de FIR	Estacionamiento de aeronaves
CTA, CTZ	Obstáculos
Otros significativos	

Tabla 4.1.

La responsabilidad de la publicación de las coordenadas recae sobre los Estados. Estos están conscientes del impacto que esta implementación representa en términos de recursos y esfuerzos que esto involucra. Esto también afecta a la comunidad aeronáutica en general, debido a los grandes volúmenes de cambios en

las distintas bases de datos de navegación, FMCs (Flight Management Computers), planes de vuelo, cartografía, etc.

4.3 Desarrollo de rutas GPS

La OACI señala en la Circular 267-AN/159, que las rutas GPS deberán desarrollarse según los criterios de rutas RNAV. La OACI y la FAA están evaluando rutas de varias dimensiones. En la Orden 8260.38A, la FAA aprueba el diseño de rutas GPS que incorporan una zona primaria de 4 millas náuticas a cada lado del centro de la ruta, seguidas por una zona secundaria de 2 millas náuticas.

En áreas no montañosas, el franqueamiento de obstáculos es de 1,000 pies en la zona primaria, y disminuye desde 1,000 pies en el borde interior hasta cero pies en el borde exterior de la zona secundaria. En áreas montañosas el franqueamiento es de 2,000 pies.

4.4 Desarrollo de aproximaciones GPS

4.4.1 Generalidades

Una de las aplicaciones con mayor potencial del GNSS es el desarrollo e implementación de aproximaciones de precisión y de no precisión. Esto hace posible diseñarlas en lugares en donde se carece de equipo terrestre o las condiciones topográficas no están dadas.

La precisión de la navegación satelital también permite la reducción de las áreas de protección permitiendo así una disminución en los mínimos de la aproximación.

La OACI en la Circular 267-AN/159, aprueba el uso de navegación satelital para desarrollar procedimientos de aproximación instrumental.

Los beneficios son:

- Mejoría en la seguridad
- Mejoría en la dependencia

- Aumento de la eficiencia
- Reducción en los costos operacionales
- Flexibilidad en el diseño de las aproximaciones
- Flexibilidad en el ATC

La seguridad mejora ya que por medio del GNSS el piloto siempre está en conocimiento de su posición. Adicionalmente el procedimiento GNSS alinea el avión con el centro de la pista, reduciendo así las maniobras bruscas de acercamiento en la cercanía de los mínimos, típicas de los procedimientos de no precisión.

La confiabilidad y la dependencia mejoran y en el caso poco probable de que fallen varios satélites simultáneamente el avión nunca pierde su capacidad de navegar.

La eficiencia mejora por medio de rutas directas a los puntos iniciales de aproximación y con el incremento en la precisión, la posibilidad de frustrar el aterrizaje se reduce.

A los proveedores de servicio se les simplifica el diseño de las aproximaciones debido a la flexibilidad que permite el GNSS. A los controladores de ATS se les simplifica también el trabajo debido a la capacidad superior de navegación que brinda el GNSS. Con la estandarización y globalización de estos procedimientos, habrá una reducción de costos en el diseño de procedimientos y el programa de inspección en vuelo.

Al desarrollar aproximaciones GNSS, existen varias consideraciones que deben ser tomadas en cuenta, en el caso de las de no precisión: o superpuestas o autónomas. Habrá un período de transición entre las aproximaciones convencionales y las GNSS.

Existen varios tipos de aproximaciones GNSS:

- GPS aproximación de no precisión
- GPS (SBAS) aproximación de no precisión
- GPS (SBAS) aproximación de no precisión con guía vertical
- GPS (SBAS) aproximación de precisión
- GPS (GBAS) aproximación de precisión (CAT I, II & III)

Las aproximaciones superpuestas juegan un papel importante en proveer beneficios inmediatos a los usuarios. También sirven para la recopilación de datos y obtener experiencia en el diseño y desarrollo de aproximaciones GNSS.

4.4.2 Area Terminal de Llegada TAA (*Terminal Arrival Area*)

El desarrollo de una aproximación GNSS se inicia con el establecimiento del Area de Llegada Terminal (TAA). El objetivo de la misma es el de proveer de un área apropiada para navegar directo a los puntos iniciales de la aproximación instrumental GNSS. La operación de aproximación está definida como la fase de vuelo desde el punto de aproximación inicial IAF (Initial Approach Flight) hasta el punto de ejecución de la aproximación frustrada MAP (Missed Approach Point) cuando se está establecido un procedimiento de no precisión (Fig. 4.1).

AREAS DEL TERMINAL DE LLEGADA (TAA)

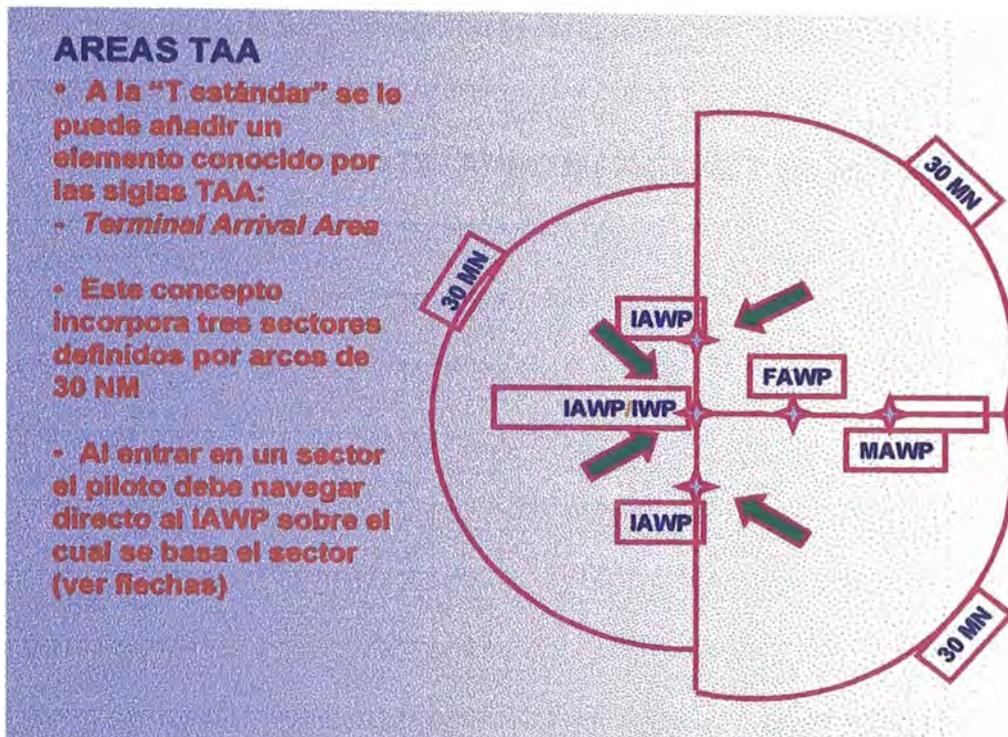


FIG. 4.1

La TAA se compone de dos áreas: la externa y la interna. La externa es semicircular con un radio de 30 NM, centrada en el punto inicial de aproximación IWP (Initial Way Point). La interna está normalmente compuesta por dos cuadrantes, cada uno limitado por la prolongación del eje del segmento inicial básico T y el eje de la prolongación del segmento intermedio; estando comprendida dentro del radio de las 30 NM, centrado en su respectivo punto inicial de aproximación IAWP (Initial Approach Way Point) a cada lado de la T.

Si los obstáculos no son un factor a considerar, la TAA deberá ser diseñada con un solo valor de altura mínima. Sin embargo, en ciertas áreas montañosas será necesario sectorizar tanto el área externa como la interna, de manera de determinar las alturas mínimas antes de alcanzar el IAWP. No deberán establecerse más de 3 sectores para el área externa y estos no deberán extenderse más de 30 grados. Las áreas internas no deberán ser sectorizadas por radiales.

Adicionalmente, ambas áreas pueden ser divididas por un arco con un solo descenso escalonado, basado en la distancia al IAF apropiado.

4.4.3 Diseño básico T

DISEÑO DE APROXIMACION T ESTANDAR

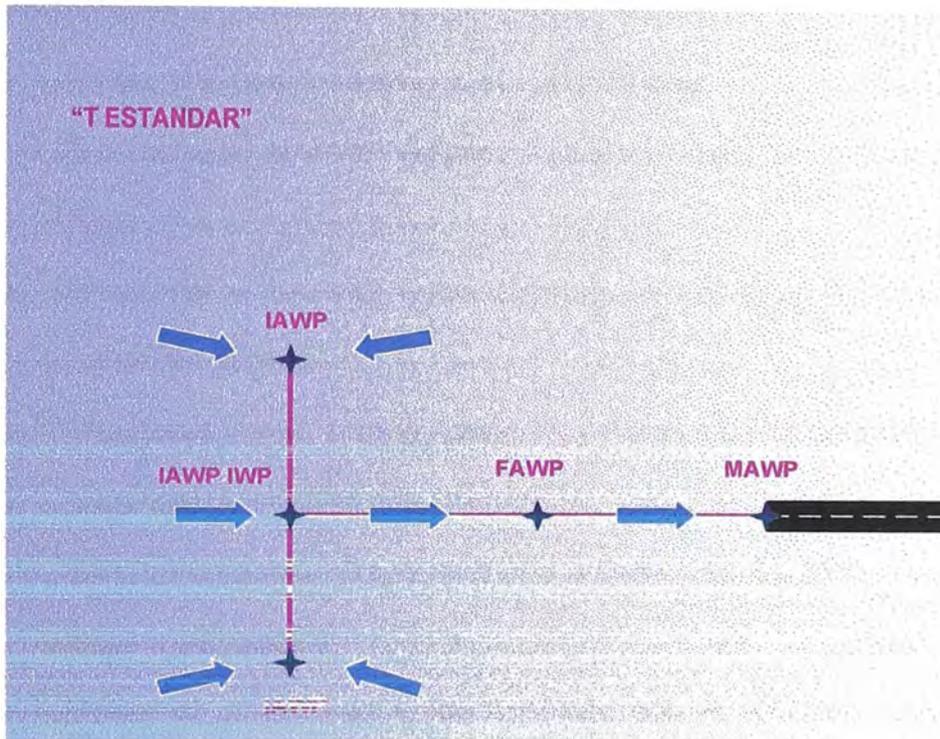


FIG. 4.2

Este diseño es el óptimo para aproximaciones GNSS. El objetivo es el de alinear el procedimiento con la prolongación del eje de la pista y con el punto de aproximación frustrada (MAP), localizado en el umbral (Fig. 4.2). El punto final de aproximación FAF (Final Approach Flight) está ubicado a 5 NM del umbral y el punto intermedio IF (Intermediate Flight) a 5 NM del FAF sobre la prolongación del eje de la pista.

Se establecen a 5 NM, 2 puntos iniciales de aproximación IAF (Initial Approach Flight) perpendiculares al IF. El procedimiento de aproximación frustrada deberá alinearse hacia un punto para un circuito de espera MAHWP (Missed Approach

Hold Way Point) ubicado en el FAF de la pista opuesta (4 NM del umbral). Si se ha diseñado un procedimiento de aproximación para la pista opuesta el MAHWP deberá ubicarse en el inicio de este procedimiento o a un punto que no pertenezca al mismo.

Resumiendo:

- Alinear el procedimiento con el eje de la pista
- Establecer el MAFWP (Missed Approach Flight Way Point) en el umbral de la pista
- Establecer el FAFWP (Final Approach Flight Way Point) a mínimo 5 NM del umbral de la pista
- Establecer el IWP (Intermediate Way Point) a 5 NM del FAF
- Establecer 2 IAWPS (Initial Approach Way Point Segment) a mínimo 4 NM del IWP (Intermediate Way Point) uno a cada lado del IWP y perpendiculares al eje del procedimiento)
- Alinear el procedimiento de frustrada con el MAHWP (ubicación óptima FAF para la otra pista o 5 NM del umbral)

4.4.4 Diseño básico I

Se considera cuando el diseño básico T no puede ser utilizado. Este consiste de un segmento intermedio seguido de un segmento de aproximación final. Es exactamente igual al básico T con la excepción de los 2 IAPs (Intermediate Approach Point) ubicados a ambos lados de la T. Se puede utilizar cualquier parte o toda de la TAA para proceder directo al IAF o al IWP; sin embargo, cualquier llegada proveniente del área interna requerirá un viraje en el circuito de espera o un regreso de manera de alinearse con el segmento final de la aproximación. En algunas áreas, será requerido el uso de vectores de radar.

4.4.5 Proceso de desarrollo

Cada Estado adaptará su propio proceso de desarrollo. Estas aproximaciones GPS pueden desarrollarse de acuerdo a los siguientes pasos:

- Realizar el levantamiento WGS-84 del aeropuerto
- Diseñar la aproximación de acuerdo a los PANS (Procedure For Air Navigation Services)
- Inspeccionar en vuelo el procedimiento
- Publicar el procedimiento

4.5 Aproximaciones GPS de no-precisión

4.5.1 Definiciones

Actualmente existen dos tipos de aproximaciones GPS de no precisión: superpuestas (*overlay*) y autónomas (*stand-alone*).

4.5.2 Aproximación de no precisión superpuesta:

Es una aproximación de no precisión convencional (VOR o NDB) que puede ser navegada utilizando el GPS.

Los criterios para codificar las aproximaciones GPS de no precisión superpuestas no permiten que todas las aproximaciones de no precisión convencionales sean navegadas con el GPS. Cuando se ha autorizado que una aproximación de no precisión convencional sea navegada con GPS, el título de la aproximación es cambiado de "VOR Rwy 09", por ejemplo, a "VOR o GPS Rwy 09".

La ruta y los mínimos de una aproximación GPS de no precisión superpuesta son los mismos que la aproximación convencional sobre la cual están basadas.

Este programa ofrece las siguientes ventajas:

- Beneficios operacionales y de experiencia: tanto para los usuarios como para los proveedores de servicio ATS.

- Recolección de información: la cual puede ser usada para otros procedimientos.
- La radioayuda puede estar inoperativa: el operador puede efectuar el procedimiento aunque ésta se encuentre fuera de servicio.
- La aviónica requerida puede no estar instalada en el avión: el operador puede efectuar una aproximación NDB, sin tener el equipo a bordo.

El programa no es complicado para ser implementado, ya que básicamente de lo que se trata, es de autorizar el uso del GPS para construir el curso final de la aproximación, utilizando coordenadas o puntos independientes de señales provenientes de equipos terrestres. El operador deberá poseer un receptor GPS certificado A1 para usarlo durante la aproximación.

Este programa se basa en las siguientes reglas:

- El avión deberá poseer un receptor GPS certificado A1.
- La aproximación deberá provenir de la base de datos de la aviónica a bordo
- Si se selecciona un aeropuerto como alternado, deberá poseer un procedimiento de aproximación instrumental convencional, el cual deberá estar operativo para la hora estimada de llegada.
- Se deberá establecer un procedimiento en el caso de interrupción de servicio RAIM.
- No se utilizará para aproximaciones de localizador ni de precisión.
- No se ejecutará este tipo de aproximación si el avión recibe su integridad a través de aviónica instalada a bordo, que usa la ayuda de navegación de la aproximación y esta se encuentra inoperativa.

A continuación se señalan una serie de pasos a seguir en el desarrollo de un programa de implementación de aproximaciones superpuestas:

- Aprobación del GPS como medio suplementario.
- Receptores de GPS certificados e instalados de acuerdo a las directivas

estatales.

- Levantamiento WGS-84 del aeropuerto.
- Aprobación de permisos operacionales.
- Aplicación de mínimos de aproximación basados en radioayuda.
- Selección de la aproximación a ser superpuesta:

Grado de complejidad

Una aproximación por aeropuerto

La más alineada al eje de la pista

Publicación para ambos tipos de aproximación en la misma carta

Revisión por especialistas

Se han codificadas más de 2,500 aproximaciones GPS de no precisión superpuestas, de acuerdo con la FAA y Transporte Canadá como paso interino para familiarizar a los usuarios.

Sin embargo, la FAA y Transporte Canadá han identificado ciertos problemas con las aproximaciones superpuestas, por lo cual están reemplazando éstas, por aproximaciones GPS de no precisión autónomas.

Uno de los errores identificados, es la discrepancia existente en muchos casos entre los puntos que aparecen en la carta de aproximación y los que aparecen en la pantalla del equipo GPS. Esta es el resultado de la diferencia de criterios utilizados en la actualización de las aproximaciones en la base de datos, las cuales requieren que se incorporen puntos, que no son reflejados en la cartografía Jeppesen.

Otra discrepancia, es la diferencia de lecturas entre el DME y el GPS, las cuales pueden confundir al piloto y por ende disminuir la seguridad del vuelo.

4.5.3 Aproximación de no precisión autónoma (independiente de VOR / NDB)

Está desarrollada para obtener la mayor seguridad y eficiencia del vuelo, sin considerar la ruta ni los mínimos de cualquiera aproximación convencional que

pudiese existir.

Las aproximaciones GPS de no precisión autónomas ofrecen varios beneficios importantes en comparación con las superpuestas. Estas:

- Incorporan en muchos casos una senda de planeo artificial, permitiendo un descenso continuo y estable como una aproximación ILS ;
- Son más eficientes al eliminar virajes de procedimiento, reduciendo los minutos de vuelo y los consiguientes costos operacionales; y
- Ofrecen mínimos más favorables en general, debido a un franqueamiento de obstáculos menor en algunos casos (Tabla 4.2) y la flexibilidad de los criterios de diseño, la cual permite “evitar” ciertos obstáculos que actualmente influyen en el diseño de un procedimiento convencional.

TIPO DE APROXIMACION	FRANQUEAMIENTO REQUERIDO
GPS no precisión autónoma	250'
VOR con punto de aproximación final	250'
VOR sin punto de aproximación final	300'
NDB con punto de aproximación final	300'
NDB sin punto de aproximación final	350'

Tabla 4.2

La OACI no ha publicado aún criterios para el diseño de aproximaciones GPS de no precisión autónomas. La FAA ha publicado estos criterios para aviones y para helicópteros.

4.6. Aproximaciones GPS de precisión

4.6.1 Aproximaciones SCAT-I

Se certificarán estaciones terrestres diferenciales y equipos de aviónica diferencial que podrán ser usados para ejecutar aproximaciones de Categoría I Especial (SCAT-I).

La OACI no ha publicado aún criterios para el diseño de aproximaciones categoría SCAT-I.

La FAA ha identificado los criterios que deben ser utilizados para este tipo de aproximación. Esta indica que deberán utilizarse los mismos criterios de diseño de las aproximaciones ILS. Sin embargo, luego de ser publicada esta orden, la FAA modificó los criterios para diseñar aproximaciones de ILS a los de MLS. Consecuentemente, los procedimientos SCAT-I deberán ser desarrollados bajo los criterios de MLS.

4.6.2 Aproximaciones SBAS Sistema de Aumentación Basada en Satélite (Satellite Based Augmentation System)

La FAA está desarrollando criterios para la implementación de aproximaciones basadas en el Sistema de Aumentación en Area Amplia WAAS (*Wide Augmentation Area System*).

4.7 Salidas Normalizadas con GPS

La FAA está desarrollando criterios para diseñar salidas normalizadas basadas en GPS, dichos criterios son publicados en boletines denominados órdenes.

4.8 Implantación de Rutas y Procedimientos GPS en el Caribe

4.8.1 Participantes

A finales de 1994, se inició en el Caribe un Plan de Ensayos y Demostraciones del GNSS para desarrollar Rutas y Procedimientos, en el cual participaron:

- CAA (Civil Aviation Authority): Haití, República Dominicana, Tortola BVI,

Anguilla, San Martín, San Kitts, Antigua, Guadalupe, Dominica, Martinique, Sta. Lucía, San Vicente, Granada, Barbados, Trinidad y Tobago;

- FAA: Puerto Rico
- Líneas aéreas: American Eagle, American Airlines, BWIA y LIAT; y
- Organizaciones institucionales: IATA, IFALPA e IFATCA.

4.8.2 Implantación progresiva del GPS

Se ha implantado en dos fases:

Fase I:

Se comprobó el uso del GPS como medio de navegación suplementario en ruta. Se desarrollaron 30 rutas GPS que han permitido reducir en 4 % el tiempo de vuelo de American Eagle.

Al incrementar la confianza en el GPS, las CAAs autorizaron el uso de éste como medio de navegación primario en ruta, limitado a períodos cortos, cuando no está disponible una radioayuda convencional (VOR o NDB) por falla. Permitiendo así la operación en épocas del año, en las cuales los huracanes y tormentas suelen dejar inoperativas a las radioayudas.

Fase II:

Comprende el desarrollo, la certificación y la implementación de aproximaciones de no- precisión autónomas. Se inició a principios de 1995, con los levantamientos geodésicos WGS-84 y posterior desarrollo de salidas y aproximaciones de no precisión basadas en GPS.

4.8.3 Ejemplos de aproximaciones GPS de no precisión autónomas

Port-Au-Prince, Haití:

Se desarrollaron y certificaron dos aproximaciones GPS de no precisión autónomas para las pistas 09 y 27 del Aeropuerto Internacional Port-Au-Prince, Haití. Existe una aproximación ILS para la pista 09, cuyos mínimos para aeronaves

categoría D es de 488' HAT (*height above touchdown*), debido a los patrones múltiples ocasionados por el terreno elevado alrededor del aeropuerto. En este caso, el cual no es común, se obtuvo un HAT menor (477') con la aproximación GPS de no precisión autónoma. Estas aproximaciones fueron certificadas por la FAA, según convenio con Haití, en abril de 1996.

Tortola, BVI:

Se desarrollaron y certificaron dos aproximaciones GPS de no precisión autónomas para Tortola, BVI. Estas fueron las primeras certificadas en las regiones CAR/SAM por la FAA, según convenio con Tortola.

Santiago, República Dominicana:

Se desarrollaron y certificaron dos aproximaciones GPS de no precisión autónomas para Santiago, las cuales fueron certificadas por la FAA, según convenio con República Dominicana, en Octubre de 1997.

CAPÍTULO V

BENEFICIOS DEL GPS

5.1 Introducción

El sistema GPS actual ofrece beneficios importantes para los usuarios y las CAAs (Civil Aviation Authority). En este capítulo se describen:

- Las limitaciones de los sistemas de navegación convencionales; y
- Los beneficios del GPS.

5.2 Limitaciones de los sistemas de navegación convencionales

Para dar perspectiva a los beneficios operacionales de la navegación GNSS, se proporciona en la Tabla 5.1, un resumen de las limitaciones operacionales de los sistemas de navegación convencionales. Las limitaciones varían según el sistema e incluyen: falta de confiabilidad, cobertura geográfica insuficiente, inflexibilidad en el diseño de rutas y procedimientos, la necesidad de vista libre al receptor, terrenos que no permiten la instalación del equipo deseado, y costos elevados para equipos terrestres y de a bordo.

LIMITACIONES	INS	MLS	ILS	VOR	NDB	DME
Confiabilidad limitada en ciertos lugares			X	X	X	X
Cobertura geográfica limitada		X	X	X	X	X
No es factible la navegación directa al destino normalmente				X	X	
Requiere vista libre al receptor de a bordo		X	X	X	X	X
Terreno impide instalación en algunos lugares		X	X	X	X	X
Equipo terrestre costoso		X	X	X		X
Aviónica costosa	X	X				
Adecuado en ruta solamente	X					

Tabla 5.1

Donde:

INS (Instrument Navigation System)	= Sistema de Navegación por Instrumentos.
MLS (Microwave Landing System)	= Sistema de Aterrizaje por Microondas.
ILS (Instrument Landing System)	= Sistema de Aterrizaje por Instrumentos.
VOR (Very High Freq. Omnidir. Range)	= Red omnidireccional de muy alta frecuencia.
NDB (Non Directional Beacon)	= Radiofaro No direccional
DME (Distance Measuring Equipment)	= Equipo Radiotelemétrico

5.3 Beneficios del Sistema GPS Actual

5.3.1 Generalidades

El GPS actual ofrece enormes ventajas con relación a la navegación convencional:

- La capacidad de volar con precisión y economía a cualquier punto;
- Un conocimiento preciso y continuo de la posición de la aeronave;
- Una confiabilidad operacional de casi 100%; y
- La capacidad de implantar aproximaciones de no precisión en cualquier aeropuerto del mundo, siempre y cuando los criterios de diseño lo permitan, sin

equipo terrestre.

Debido a los avances se están utilizando receptores GPS para navegar en más de 90% de los vuelos de aviación general realizados en algunos Estados de las regiones CAR/SAM. Se están utilizando receptores GPS también en las líneas aéreas y las fuerzas aéreas de estas regiones.

El GPS actual ofrece beneficios de seguridad y operacionales.

5.3.2 Beneficios de seguridad

El GPS incrementa la seguridad del vuelo de la siguiente manera:

- Ofrece un conocimiento preciso y continuo de la posición de la aeronave
- Permite una navegación más exacta en ruta y durante las aproximaciones de no precisión, reduciendo desvíos no autorizados que podrían crear conflictos con otras aeronaves y con obstáculos;
- Ciertos equipos de aviónica GPS proporcionan indicaciones al piloto que son idénticas a las del ILS, incrementando el control de la aeronave y reduciendo la carga de trabajo. Estos equipos crean un “*pseudo glide slope*” que puede ser acoplado al piloto automático. Aunque las indicaciones con estos equipos se asemejan a las de un ILS, el mínimo aplicable es el de una aproximación de no precisión.

5.3.3 Beneficios operacionales

El GPS ofrece los siguientes beneficios operacionales:

- Un incremento en la eficiencia del vuelo: la implantación de rutas GNSS más cortas permite que se cargue menos combustible, incrementando la carga de pago.
- Se pueden optimizar las rutas y aproximaciones de no precisión y navegarlas con mayor precisión, reduciendo el tiempo de vuelo y los costos variables (combustible, salarios, mantenimiento). Donde el terreno es un factor, la

disponibilidad de navegación precisa podría reducir el ángulo de ascenso, incrementando la carga máxima disponible. Se pueden desarrollar aproximaciones de no precisión para cualquier aeropuerto, utilizando criterios aprobados, sin la necesidad de equipo terrestre. Las aproximaciones GPS de no precisión ofrecen, en muchos casos, mínimos más favorables que una aproximación de no precisión convencional a la misma pista.

- Un incremento en la confiabilidad del vuelo: previo al despegue se puede confirmar la disponibilidad de la navegación GPS a lo largo de la ruta. Dada la operatividad del GPS, se eliminará casi en su totalidad los atrasos y las cancelaciones atribuidas actualmente a la inoperatividad de equipos terrestres;
- Un incremento en la flexibilidad del vuelo: se podría ofrecer servicio a nuevos destinos donde no es factible actualmente por requerir rutas demasiado largas y/o por falta de aproximaciones instrumentales.

Los beneficios de seguridad y beneficios operacionales descritos anteriormente, se muestran en las tablas 5.2 y 5.3 referidos a las fases de vuelo así en la etapa previo a la salida, la difusión del NANU (Notification Advisory for Navstar Users) deberá ser oportuna y confiable, en la salida, ruta y llegada la integridad del servicio GNSS deberá ser inalterable con las condiciones meteorológicas, en ruta en caso de emergencia el Sistema GNSS ofrece una lista actualizada de los aeropuertos más cercanos, en aproximación y aterrizaje los equipos GNSS/FMS disponen de navegación vertical y así reducen el CFIT(Controlled Flight into terrain), vuelo controlado desde tierra, siendo ésta última causante de numerosos accidentes.

5.3.4. Beneficios por fase de vuelo

NAVEGACION – BENEFICIOS POR FASE DEL VUELO					
	 PREVIO A LA SALIDA	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
INCREMENTO EN LA SEGURIDAD DEL VUELO	<ul style="list-style-type: none"> • La difusión (NANU) de información sobre el estatus del GPS es oportuna y confiable 	<ul style="list-style-type: none"> • La aviónica GNSS ofrece mejor información de la posición • Con el GNSS se puede navegar con mayor precisión • Las condiciones meteorológicas no afectan a las indicaciones del GNSS 	<ul style="list-style-type: none"> • La aviónica GNSS ofrece mejor información de la posición • Con el GNSS se puede navegar con mayor precisión • Las condiciones meteorológicas no afectan a las indicaciones del GNSS • En caso de emergencia, la aviónica GNSS mantiene actualizada una lista de los aeropuertos más cercanos (proporciona rumbo, distancia y tiempo de vuelo a cada uno) 	<ul style="list-style-type: none"> • La aviónica GNSS ofrece mejor información de la posición • Con el GNSS se puede navegar con mayor precisión • Las condiciones meteorológicas no afectan a las indicaciones de la aviónica GNSS 	<ul style="list-style-type: none"> • La aviónica GNSS ofrece mejor información de la posición • Con el GNSS se puede navegar con mayor precisión • Los equipos GNSS/FMS disponen de navegación vertical, y así reducen el CFIT • Las condiciones meteorológicas no afectan a las indicaciones de la aviónica GNSS como es el caso con el equipo NDB

Tabla 5.2

BENEFICIOS POR FASE DEL VUELO					
	 PREVIO A LA SALIDA	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
BENEFICIOS OPERACIONALES	<ul style="list-style-type: none"> • La implantación de rutas GNSS más cortas permite cargar menos combustible y aumentar la carga de pago • Previo al despegue se puede confirmar la disponibilidad de la navegación GPS a lo largo de la ruta • Se podrá ofrecer servicio a nuevos destinos donde no ha sido factible por requerir rutas demasiado largas y/o por la falta de aproximaciones y salidas instrumentales 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden optimizar las rutas y navegarlas con mayor precisión, reduciendo así el tiempo de vuelo y los costos variables (combustible, salarios, mantenimiento) • El GPS está operativo casi 100% del tiempo, lo cual elimina los atrasos y las cancelaciones debidas actualmente a equipos terrestres inoperativos • Donde el terreno es un factor, la disponibilidad de navegación precisa podría reducir el ángulo de ascenso e incrementar la carga máxima disponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden optimizar las rutas y navegarlas con mayor precisión, reduciendo así el tiempo de vuelo y los costos variables (combustible, salarios, mantenimiento) • El GPS está operativo casi 100% del tiempo, lo cual elimina los atrasos y las cancelaciones debidas actualmente a equipos terrestres inoperativos 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden optimizar las rutas y navegarlas con mayor precisión, reduciendo así el tiempo de vuelo y los costos variables (combustible, salarios, mantenimiento) • El GPS está operativo casi 100% del tiempo, lo cual elimina casi en su totalidad los atrasos y las cancelaciones debidas actualmente a equipos terrestres inoperativos • Con los equipos GNSS/FMS se puede determinar el momento oportuno para iniciar el descenso de forma económica 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden optimizar las aproximaciones de no precisión y navegarlas con mayor precisión, reduciendo así el tiempo de vuelo y los costos variables • El GPS está operativo casi 100% del tiempo, lo cual elimina los atrasos y las cancelaciones debidas actualmente a equipos terrestres inoperativos • Se puede desarrollar aproximaciones de no precisión para cualquier aeropuerto sin que esté disponible un equipo terrestre

Tabla 5.3

CAPÍTULO VI

REQUISITOS PARA LA IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA GPS

6.1 Introducción

La OACI no ha publicado aún normas y métodos recomendados SARPS (Standards and Recommended Practices) para la navegación GNSS, sin embargo ha proporcionado la Circular 267-AN/159 como material guía interino.

Por otra parte, la FAA (Federal Aviation Administration) ha desarrollado normas comprensivas que deberán ser utilizadas en el espacio aéreo de los Estados Unidos. Las directrices de la Circular 267-AN/159 concuerdan con las normas publicadas por la FAA en varios documentos, a los cuales se hace referencia en este capítulo. No obstante, en ciertos casos la FAA ofrece orientación más detallada que la Circular 267-AN/159.

Se presenta en este capítulo los requerimientos y normas relacionados con el proceso de implantación con las operaciones GNSS.

6.2 Normas para el uso del GPS como medio de Navegación Suplementario

6.2.1 Requisitos de equipo y mantenimiento

- TSO-C129a. Equipos que no cuentan con RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) y los portátiles no pueden ser utilizados en condiciones IFR (Instrument Flight Rules) . La disposición técnica normalizada TSO-C129a de la FAA especifica estándares mínimos operacionales para el equipo GPS aprobado como medio suplementario en condiciones IFR. Hay 10 clases de

receptores especificados en la TSO C129a (ver tabla 6.1). Para usar un equipo en condiciones IFR se requiere que la base de datos sea actualizada cada 28 días

CATEGORIAS	Clases de Equipos según TSO-C129a		
	Clase A	Clase B	Clase C
	Instalación de aviónica GPS sin enlaces con otros sistemas. Usado sobre todo por la aviación general.	Instalación de aviónica GPS integrada con otros sistemas de navegación. Usado sobre todo por la aviónica corporativa.	Instalación de aviónica GPS integrada con otros sistemas de navegación. Usado sobre todo por las líneas aéreas incluyendo usuarios FAA .
1	Certificado para uso en ruta, área terminal, aproximación de no precisión; integridad proporcionada por RAIM		
2	Certificado para uso en ruta, área terminal, aproximación de no precisión; integridad proporcionada por RAIM		
3		Certificado para uso en ruta, área terminal, aproximación de no precisión; integridad proporcionada por un equivalente de RAIM.	
4		Certificado para uso en ruta, área terminal; integridad proporcionada por un equivalente de RAIM.	

Tabla 6.1

- El equipo de a bordo estará debidamente instalado. (*Circular 267-AN/159*)
- Los explotadores incluirán en su programa de mantenimiento los requisitos de mantenimiento del fabricante del equipo.
- Para usar el GNSS como medio de navegación suplementario, se requiere un sistema GNSS más un sistema de navegación aprobado como medio único.

(Circular 267-AN/159).

- El tabla 6.2 resume las operaciones aprobadas por la FAA por fase de vuelo según la capacidad del equipo (GPS solo, GPS/RAIM, y GPS/RAIM/FDE). Ciertos requisitos operacionales identificados en este capítulo forman parte de estas aprobaciones.

	GPS	GPS/RAIM	GPS/RAIM/FDE
Salida	Suplementario VFR	Suplementario IFR	Primario IFR, área remota/ oceánica
En ruta, área doméstica	Suplementario VFR	Suplementario IFR	Suplementario IFR
En ruta, área	Suplementario VFR	Suplementario IFR	Primario IFR
Llegada	Suplementario VFR	Suplementario IFR	Primario IFR, área remota/ oceánica
Aproximación de no- precisión		Primario IFR	Primario IFR

Tabla 6.2

6.2.2 Requisitos de adiestramiento

Personal de línea aérea

Los pilotos, el personal de mantenimiento y de control de operaciones AOC (Aeronautical Operational Control) recibirán la debida capacitación GNSS, según lo indicado a continuación. Los explotadores deberán cumplir con los requisitos de entrenamiento de pilotos en el Handbook Bulletin Air Transportation (HBAT) 95-02 donde indica:

- ◆ La capacitación y calificación de la tripulación para operaciones de aproximación por instrumentos GPS deberán ser compatibles con las calificaciones requeridas para el uso de sistemas ILS, VOR/DME, RNAV y un sistema de gestión de vuelo RNAV con multi-sensores de Sistema de Gestión

de Vuelo FMS (Flight Management System) , Si bien estas normas no hacen referencia específica a los sistemas GPS, los principios son equivalentes y se pueden aplicar estos criterios para evaluar los conocimientos, procedimientos, verificaciones y tiempo de experiencia de la tripulación, hasta que se disponga de otros criterios. Actualmente, no hay requisitos especiales de calificación de la tripulación especificadas para las aproximaciones GPS, aparte de aquellos necesarios para la calificación en aproximaciones por instrumentos ILS y RNAV

- ◆ La capacitación en tierra debe asegurar que cada miembro de la tripulación de vuelo cuente con el conocimiento necesario acerca de los procedimientos GPS a ser utilizados en el vuelo. Los explotadores deben completar exitosamente el segmento del programa de capacitación aprobado para operaciones GNSS, según el caso:

- los principios de la navegación GPS;

- operaciones del soporte físico e integración con otros equipos de navegación;

- uso de soporte lógico; cuestiones sobre factores humanos; tales como pantallas, cartas y láminas de aproximación;

- las limitaciones del equipo GPS; y

- las técnicas y procedimientos de mantenimiento y despacho, y el contenido de las Especificaciones Operacionales OpSpecs (Operational Specification).

- ◆ La capacitación en vuelo para la calificación inicial, recurrente y recalificación deberá garantizar que cada miembro de la tripulación de vuelo cuente con las destrezas y habilidades necesarias para llevar a cabo las operaciones propuestas en forma segura. Los miembros de la tripulación de vuelo deberán

completar en forma exitosa el programa de capacitación en vuelo aprobado para GPS de ese explotador.

- ◆ Las aproximaciones por instrumentos GPS pueden ser reconocidas para otros tipos equivalentes de aproximaciones; por ejemplo, las aproximaciones de no precisión NDB. No obstante, la demostración de cualquier otra aproximación de no precisión no podrá ser reconocida para el requisito OpSpecs a demostrar, por lo menos, una aproximación de no- precisión utilizando GPS.

Personal de Administración de Aviación Civil CAA (Civil Aviation Authority)

Los controladores e inspectores deberán completar el adiestramiento en base

a:

- Arquitectura actual/futura del GNSS
- Limitaciones del GNSS
- Operaciones apoyadas por el GNSS actual/futuro
- Operaciones autorizadas por la CAA
- Procedimientos normales y anormales
- Integración del GNSS en la cabina de pilotos
- Operación del equipo a bordo
- Operación del soporte lógico de disponibilidad previa a la salida
- Instalación, mantenimiento y reparación del equipo.

6.2.3 Requerimientos operacionales por fase de vuelo.

A. *Previo a la salida*

Las aeronaves equipadas con GNSS deberán declararse con el código de equipo "IG".

El piloto o el despachador de vuelos de línea aérea (AOC) confirmará si hay suficiente disponibilidad Satelital, utilizando un programa de soporte lógico aprobado. En el caso de que el programa de soporte lógico determine que la

cobertura Satelital no estará disponible durante una porción del vuelo, entonces el vuelo será demorado o encaminado para eliminar la falta de disponibilidad. La FAA ha indicado informalmente que esta confirmación no es necesaria si se prevé utilizar el GPS para navegar en ruta únicamente.

La tripulación cumplirá con los procedimientos establecidos por el fabricante para garantizar la vigencia de la base de datos.

B. Salida, en ruta y llegada

La tripulación debe tener siempre a su disposición un medio de navegación convencional (VOR, DME, NDB, INS, IRS) aprobado como medio único. Si bien debe haber orientación de navegación convencional disponible, no es necesario utilizarla para hacer una verificación cruzada de la orientación GPS, siempre y cuando se disponga con RAIM. No obstante, la CAA podría requerir que un miembro de la tripulación vigile la orientación de navegación convencional a fin de poder contar, sin demora alguna, con informes de posición con respecto a los puntos de referencia convencionales. Esto evitaría el potencial de confusión o una mayor carga de trabajo para el controlador debido al uso por el piloto de puntos de referencia GNSS desconocidos por el controlador.

C. Aproximación de no precisión

Los explotadores participantes pueden realizar en condiciones IFR aproximaciones GNSS de no- precisión superpuestas y autónomas debidamente desarrolladas y certificadas.

Al realizar una aproximación GNSS de no precisión no es necesario hacer una verificación cruzada con una ayuda para la navegación convencional. Además, no es necesario que esté instalado en el aeropuerto de destino una radio ayuda convencional: "Ni la aviónica tradicional de la aeronave ni la(s) ayuda(s) de navegación terrestre(s) tienen que estar instaladas, operativas o ser monitoreadas

para volar las aproximaciones de no precisión en el destino.

Si se requiere un aeropuerto alterno, deberán estar instalados y operacionales los equipos convencionales terrestres y de a bordo que definen la aproximación por instrumentos y la ruta al aeropuerto alterno.

Una tripulación no deberá solicitar ni aceptar un permiso de aproximación por instrumentos GNSS a menos que se extraiga el procedimiento de la base de datos del receptor por nombre. Esto evita la introducción de coordenadas erróneas para la navegación.

6.3 Normas para el uso del GPS como medio de navegación primario

Las normas para el uso del GPS como medio de navegación suplementario y primario son iguales menos las siguientes diferencias.

6.3.1 Requisitos de equipo y mantenimiento

El equipo de aviónica deberá incorporar la capacidad de detección y exclusión de falla FDE (Fault Detection Exclusion) para cancelar un satélite defectuoso.

6.3.2 Previo a la salida

El piloto o el despachador de vuelos de línea aérea (AOC) confirmará para cada vuelo si hay suficiente disponibilidad Satelital, utilizando un programa de soporte lógico aprobado. En el caso de que el programa de soporte lógico determine que la cobertura Satelital no estará disponible durante una porción del vuelo, entonces el vuelo será demorado o encaminado para eliminar la falta de disponibilidad.

6.3.3 Salida y llegada

No es necesario que se mantenga disponible un medio de navegación convencional en ésta etapa de vuelo.

6.3.4 En ruta, área remota/oceánica

No es necesario que se mantenga disponible un medio de navegación convencional en ésta etapa de vuelo.

6.4 Documentación

6.4.1 Manuales operacionales de la aeronave/ Manuales de piloto

En sus manuales, los explotadores establecerán, por escrito, procedimientos GNSS compatibles con los procedimientos recomendados por el fabricante. Se requiere un suplemento de manual de vuelo de la aeronave AFMS (*Airplane Flight Manual System*).

6.4.2 Manuales de mantenimiento

A. En sus manuales, los explotadores establecerán, por escrito, procedimientos GNSS compatibles con los procedimientos recomendados por el fabricante.

B. Se modificará la Lista de Equipo Mínimo (MEL (Minimum Equipment List) de la aeronave a fin de incluir el equipo GNSS.

6.4.3 Manuales de Control de Operaciones de las Líneas Aéreas (AOC)

En sus manuales, los expertos establecerán, por escrito, procedimientos GNSS compatibles con los procedimientos recomendados por el fabricante.

6.4.4 Especificaciones de las operaciones

Los explotadores que contemplen el uso de GNSS en el sistema del espacio aéreo necesitarán una aprobación de las Especificaciones de Operación del Inspector Principal de Operaciones de la Región comprendida.

CAPÍTULO VII

FUTURO DEL GNSS

7.1 Introducción

Aunque el GPS actual ofrece beneficios importantes, no dispone de la exactitud, la integridad, la disponibilidad y la continuidad requerida para ser un medio de navegación único en cada fase del vuelo. Se anticipa una integración operacional de los sistemas GPS y GLONASS en los próximos 2 a 3 años que eliminará algunas limitaciones que cada sistema tiene por si solo. Además, se están desarrollando dos sistemas nuevos para cumplir con todos los requisitos de un medio único: el sistema de aumentación basado en satélite SBAS (Satellite Based Augmentation System) y el sistema de aumentación basado en la tierra GBAS (Ground Based Augmentation System) (ver Fig. 7.1). La FAA ha publicado un plan de transición que incluye la desmantelación de los equipos de navegación convencionales a medida que el GPS avance hacia un medio único para todas las fases del vuelo.

EVOLUCIÓN DEL GNSS

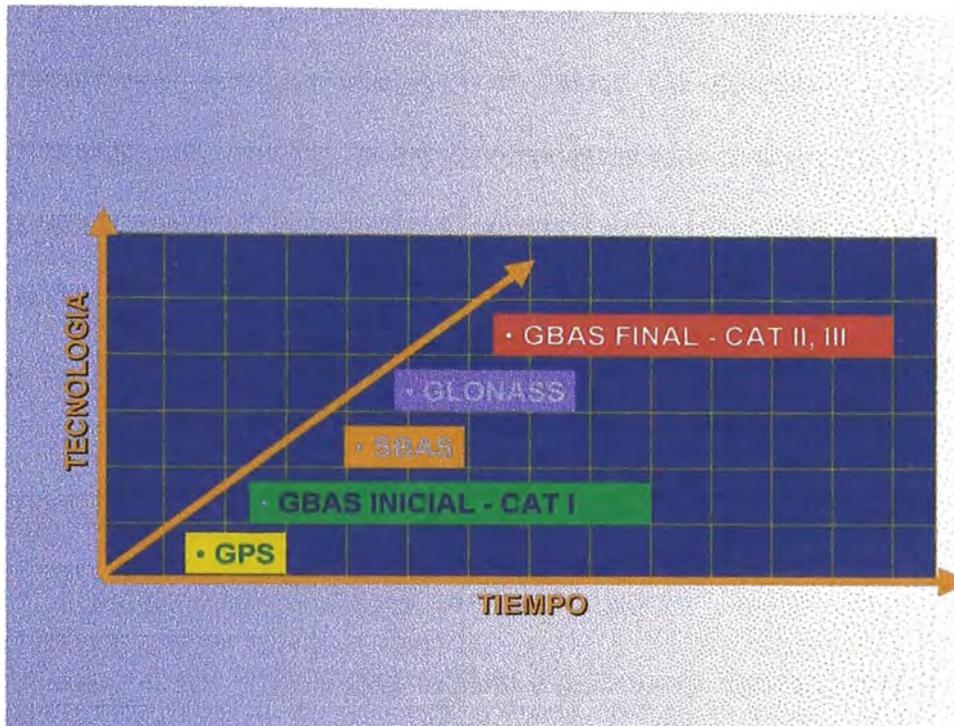


FIGURA 7.1

7.2. Uso conjunto del GPS y del GLONASS

Está planificada la integración operacional de los sistemas GPS y GLONASS para dar mayor utilidad al sistema GNSS. Con los dos sistemas integrados se tendrá:

- Una mayor rapidez de recepción de señales debido a la mayor disponibilidad de satélites a la vez; y
- Una mayor cobertura en ambientes con muchas obstrucciones (edificios, árboles, montañas).

Los planos orbitales del GPS y del GLONASS son complementarios. El GLONASS tiene tres planos orbitales y el GPS tiene seis. Los del GLONASS favorecen las latitudes extremas, mientras que los planos orbitales del GPS favorecen las latitudes medias. La diferente inclinación de estos en cada sistema resulta en un incremento en la disponibilidad de las señales de navegación.

7.3 GPS diferencial

El GPS diferencial consiste en la aplicación de correcciones a las soluciones navegacionales. El factor de corrección está expresado en fracciones de tiempo. Este monitor se encuentra en una localidad levantada bajo los estándares WGS-84; recibe su posición de los satélites y la compara con la verdadera, de esta manera determina el factor de corrección, el cual es enviado a la estación maestra de control o directamente al avión.

El avión utiliza estas correcciones para precisar aún más su posición, mientras que la estación maestra actualiza información del satélite y la hora.

Existen diferentes tipos de aumentación:

- Wide Area Differential Global Positioning System (WADGPS): la cual es para grandes áreas.
- Local Area Differential Global Positioning System (LADGPS): la cual es para áreas menores.

7.4 Sistema de aumentación basada en satélites (SBAS)

7.4.1 Introducción

SBAS es un término que comprende todos los sistemas de aumentación basados en satélites que están en desarrollo; además de cualquier otro que sea desarrollado en el futuro. Están trabajando en los sistemas SBAS: los Estados Unidos (el sistema WAAS), la Unión Europea (el sistema EGNOS) y Japón (el sistema MTSAT). Los objetivos de los sistemas SBAS son:

- Incrementar la integridad del GNSS para cumplir con los requisitos de un sistema único de navegación. Las regulaciones requieren el aviso de falla del sistema dentro de 30 segundos cuando se está en ruta, 10 segundos en una aproximación de no-precisión, y 6 segundos en una aproximación de precisión.

En contraste, el sistema GPS puede tomar hasta 30 minutos para notificarle al usuario que ha fallado un satélite.

- Incrementar la exactitud del GNSS para cumplir con los requisitos de un medio único de navegación para aproximaciones de precisión. Sin WAAS o un equipo SCAT-I, el GPS puede ser utilizado únicamente para aproximaciones de no-precisión.
- Incrementar la disponibilidad del sistema para cumplir con los requisitos de un medio de navegación único. Actualmente la disponibilidad del sistema GPS varía entre 95-98%. Por consiguiente, es necesario confirmar, antes de cada vuelo en el cual se desea utilizar el GPS como medio de navegación primario, la disponibilidad de los satélites a lo largo de la ruta planificada. Previo al WAAS ha sido necesario dedicar un satélite para monitorear la integridad.

COMPONENTES DEL SBAS

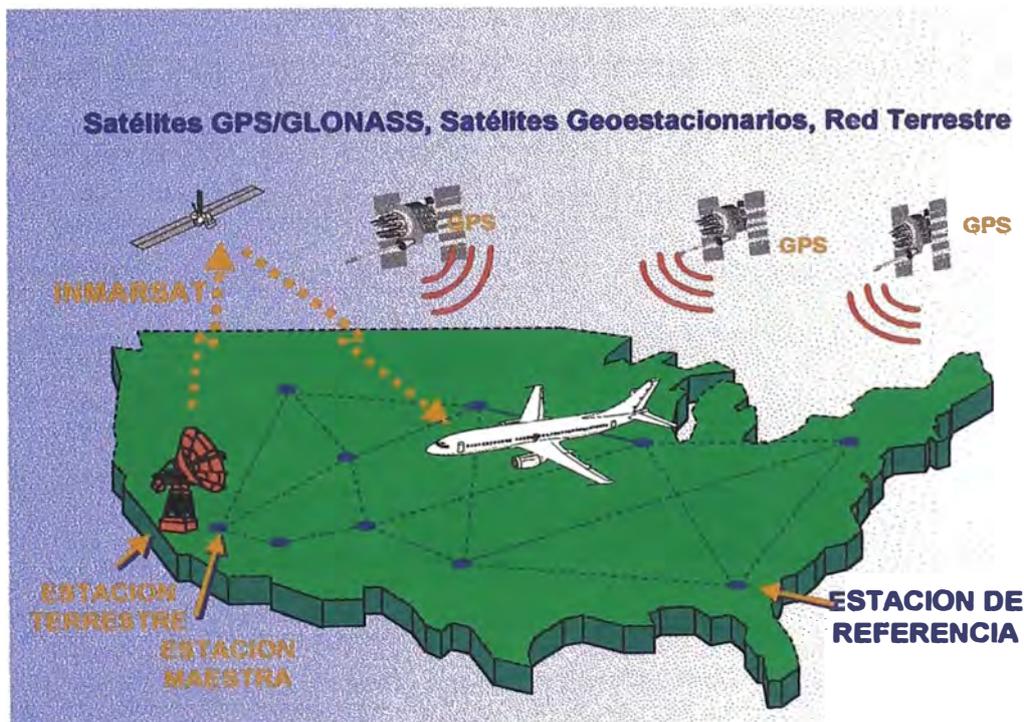


FIGURA 7.2

La arquitectura básica de todos los sistemas SBAS (Fig. 7.2) es similar a una red de estaciones terrestres diferenciales que determina el error causado a nivel regional. Estas correcciones son transmitidas al avión por medio de satélites geoestacionarios. El receptor de a bordo entonces con esta información, ajusta las indicaciones recibidas de los satélites GPS, logrando mayor precisión en la navegación.

7.4.2 Sistema de aumentación de área ampliada WAAS (*Wide Augmentation Area System*)

El Departamento de Defensa de Estados Unidos, tiene la capacidad de disminuir intencionalmente la precisión de la navegación GPS por motivos de seguridad nacional utilizando una tecnología denominada disponibilidad selectiva o Selective Availability (S/A). Esta ha sido removida a partir de mayo del 2000 beneficiando así a los usuarios del GPS.

La FAA está desarrollando el WAAS para obtener a nivel regional la exactitud, integridad, disponibilidad y continuidad necesaria para usar el GPS como medio único de navegación en el área terminal, en ruta y durante aproximaciones de no-precisión y de precisión CAT I en aeropuertos seleccionados. Sin embargo, es probable que las aproximaciones CAT I proporcionados por el WAAS tengan mínimos superiores a los de una aproximación ILS (350 pies).

El área de cobertura del sistema abarca los Estados Unidos, parte de Canadá y de México.

El WAAS está basado en una red de 25 estaciones de vigilancia llamadas estaciones de referencia de área amplia o WRS (*Wide-area Reference Stations*), que se encargan de recibir las señales de los satélites GPS. Estas estaciones han sido levantadas, determinando el margen de error de las señales GPS al recibirlas. Esta información es transmitida a las estaciones maestras o WMS (*Wide-area*

Master Stations), donde una vez computada y procesada se envía la corrección por medio de las antenas para la retransmisión de datos GES (*Ground Earth Stations*) a los satélites geoestacionarios GEO (*Geostationary Earth Satellites*). Entonces este mensaje es transmitido en la misma frecuencia del GPS (L1: 1575.42 MHz) a los receptores a bordo de los aviones, los cuales, están volando en el área cubierta por el WAAS. Los satélites de comunicación también actúan como satélites adicionales de navegación, suministrando así señales adicionales de navegación para determinación de la posición.

El WAAS mejorará la precisión del GPS a 7 metros vertical y horizontalmente, además mejorará la disponibilidad del sistema debido al uso de estos satélites de comunicación geoestacionarios.

Las 25 estaciones de vigilancia serán instaladas con 500 millas de separación a lo largo de los Estados Unidos, Alaska, Hawaii y Puerto Rico. Estas estaciones vigilarán las señales de cada satélite por encima del horizonte (por lo menos 5 grados) con el objetivo de detectar una condición de falla o fuera de tolerancia para satélites individuales;

Cuando se detecta una condición de falla de un satélite, se transmitirá inmediatamente una notificación a los receptores de a bordo mediante los satélites geoestacionarios.

La FAA está implantando el sistema WAAS en tres fases (tabla 7.1):

FASES	PLANES PREVISTOS
1 (3/1999)	Instalación de las estaciones (control, vigilancia, retransmisión) y conexión con 2 satélites geoestacionarios INMARSAT. Uso como medio de navegación suplementario para aproximaciones de precisión.
2 (4/1 999 - 4/2000)	Uso como medio de navegación suplementario para aproximaciones de precisión. Período de evaluación
3 (5/2000 - 10/2001)	Adición de satélites geoestacionarios. Uso como medio de navegación primario, pero con mínimos mayores que Categoría I, que serán disminuidos a medida que se adquiera experiencia.

Tabla 7.1

Los beneficios del WAAS son:

- Mayor disponibilidad de pistas.
- Rutas más directas.
- Nuevas aproximaciones de precisión.
- Reducción del equipamiento a bordo de los aviones.
- Ahorro a las autoridades al eliminar los gastos de mantenimiento de las viejas radioayudas (NDBs, VORs, DMEs e ILSs CATI).

7.4.3 Sistema Global Europeo de Navegación por Superposición EGNOS (European Global Navigation Overlay System)

El Sistema en su primera fase contempla la aumentación del GPS/GLONASS, muy similar al WAAS.

El segmento del espacio del EGNOS se basará en los *transponders* a bordo de dos satélites geoestacionarios INMARSAT, posicionados sobre los Océanos Atlántico e Indico.

El sistema terrestre consistirá de estaciones de referencia, un Centro de Control de Misión MCC (Mision Control Center) y estaciones de comunicaciones. Las estaciones de referencia llevaran a cabo mediciones para determinar la

posición exacta de los satélites Inmarsat. Esta información es enviada al MCC, en donde la posición de los satélites es calculada y sincronizada con los satélites GPS.

El MCC enviará este mensaje a los transponders EGNOS en los satélites geoestacionarios, los cuales, a su vez lo retransmiten a los usuarios para calcular su posición. Al transmitir esta señal, se convierten en dos satélites adicionales a la constelación GPS/GLONASS.

EGNOS mejorará la integridad al ser capaz de anunciar en 10 segundos la falla de algún satélite GPS/GLONASS. También proporcionará correcciones diferenciales.

7.4.4 Sistema Multifuncional de Aumentación Satelital MSAS (*Multifunction Satellite Augmentation System*)

Está basado en el satélite japonés MTSAT. Este es geoestacionario con una vida útil de aproximadamente 10 años, ubicado cerca del Ecuador.

Su funcionamiento es similar al WAAS y EGNOS. Las estaciones de monitoreo estarán ubicadas en Japón. El satélite proveerá además de ADS (*Automatic Dependent Surveillance*).

7.5 Sistema de aumentación basada en tierra GBAS (*Ground Based Augmentation System*)

7.5.1 Concepto

Los sistemas GPS/GLONASS aún con la aumentación del sistema SBAS, están limitados a aproximaciones CAT I. Por lo tanto, se está desarrollando otro sistema, el GBAS, de aumentación más preciso que permita la ejecución de aproximaciones CAT II/III. Los componentes se muestran en la fig. 7.3, en la fig. 7.4 se desarrolla la arquitectura y finalmente en la fig. 7.5 se muestra el GBAS en su estado final.

SISTEMA DE AUMENTACION BASADA EN TIERRA



FIGURA 7.3

ARQUITECTURA DEL GBAS

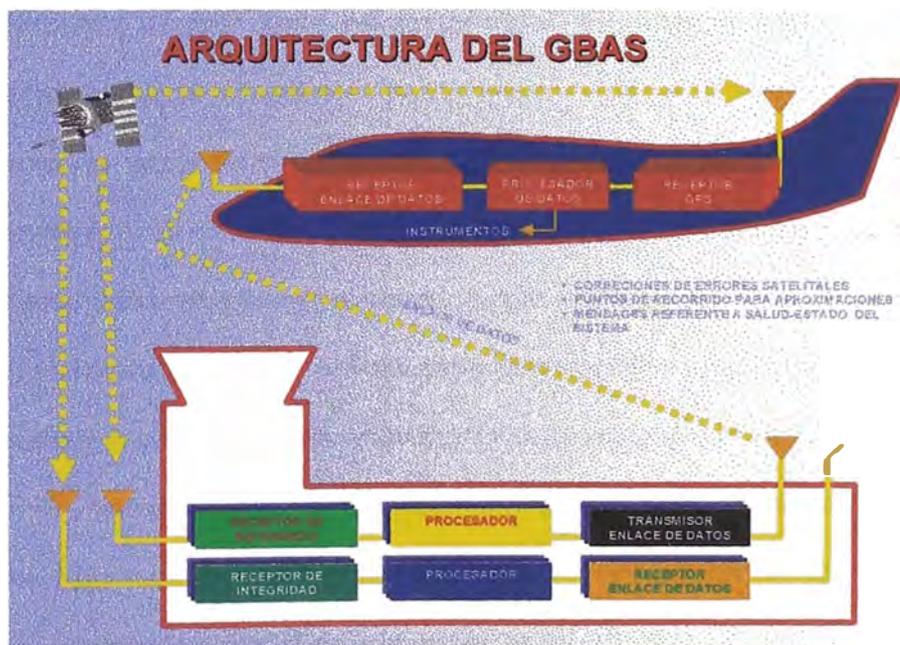


FIGURA 7.4

GBAS EN SU ESTADO FINAL

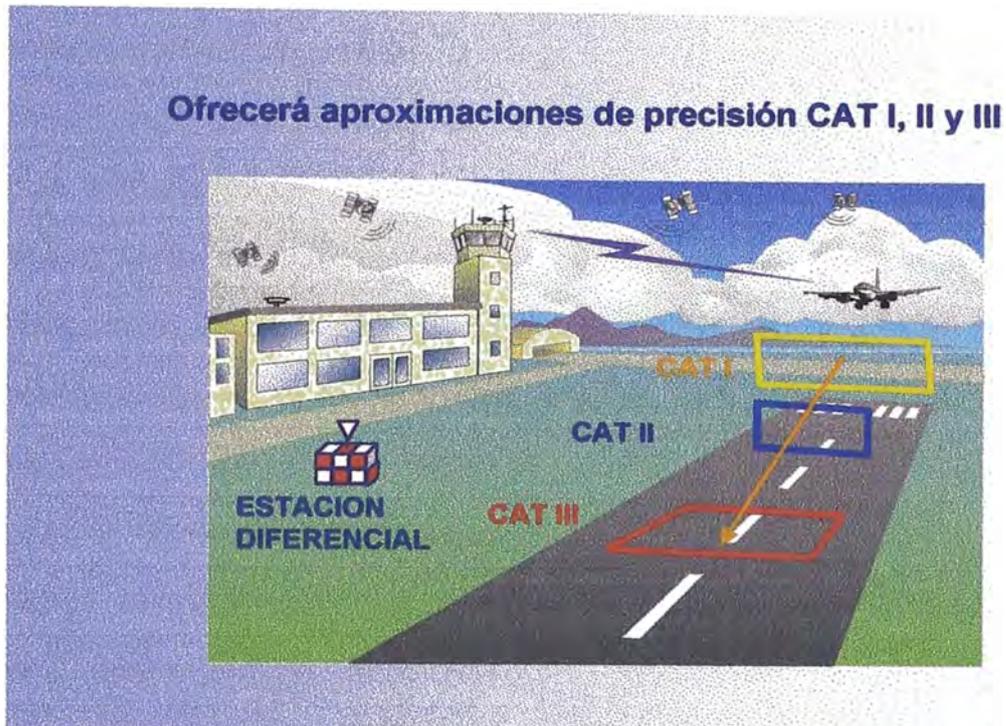


FIGURA 7.5

7.5.2 Sistema Local de Aumentación de Área LAAS (*Local Area Augmentation System*)

El segundo sistema de aumentación de la señal GPS es el LAAS, el cual, complementará al WAAS, permitiéndole a los usuarios un sistema de navegación Satelital para todas las fases del vuelo. En la práctica significa que en localidades donde el WAAS no es posible ser utilizado para cumplir requerimientos de aterrizaje (disponibilidad) el LAAS lo hará. Adicionalmente, el LAAS cumple con los requisitos para CAT III, suministrando al usuario una señal de navegación que puede ser utilizada en cualquier condición meteorológica, inclusive ser un componente de un sistema de navegación de superficie para los sistemas de vigilancia/tráfico terrestre de los aeropuertos.

Similar al concepto WAAS, el LAAS transmite su mensaje de corrección en VHF desde un transmisor terrestre. Se espera que la precisión de la posición de la aeronave sea menor a un metro.

El LAAS permitirá patrones de aproximaciones curvos, imposibles con los sistemas actuales. Las aproximaciones serán diseñadas de manera de evitar obstáculos, áreas restringidas, áreas de sensibilidad de ruido o espacios aéreos congestionados. Una sola estación de LAAS permitirá aproximaciones de precisión a todas las pistas de un aeropuerto, eliminando así la necesidad de instalaciones múltiples de ILS.

La implantación del LAAS afectará a los siguientes grupos:

- **Pilotos:** el LAAS reducirá la carga de trabajo al integrar el GPS/WAAS/LAAS como medio primario de navegación. Se reducirá los requerimientos de entrenamiento al reducirse el número de equipos de aviónica a bordo.
- **Controladores ATS:** el LAAS/WAAS/GPS permitirá a los controladores trabajar con un sistema de navegación ininterrumpido a través de todas las fases de vuelo.
- **Mantenimiento:** se reducirá el número de radioayudas en la medida en que se vaya implementado el LAAS. El ciclo de vida para el LAAS será de 20 años, con reemplazo de ciertos componentes cada 5 – 7 años. El *software* será actualizado cuando sea requerido.

7.5.3 Categoría I Especial SCAT-I

Es una aproximación instrumental CAT I que utiliza la tecnología del GPS diferencial. Ha sido desarrollada por la FAA para brindar la oportunidad a los proveedores y a los usuarios de adquirir experiencia en aproximaciones de precisión utilizando el DGPS. Este concepto puede ser utilizado hasta que el

WAAS y el LAAS estén disponibles para proveer aproximaciones de precisión para todos los aeropuertos.

Uno de los inconvenientes de este sistema es la ausencia de interoperabilidad entre diferentes SCAT I. Cada receptor SCAT I debe ser instalado en el avión y certificado conjuntamente con la estación terrestre, lo cual significa que un receptor certificado con un sistema SCAT I no funcionará con uno diferente. También, la mayoría de los SCAT I pueden ser actualizados a los estándares de LAAS. Sin embargo, se desconoce si son compatibles.

7.6 Estudio de riego del GPS

El resultado del estudio efectuado por la Universidad John Hopkins, concluye que el GPS con algunas mejoras de aumentaciones satisface los requerimientos de performance como único medio de navegación instalado en un avión y el único servicio suministrado por parte de la FAA para operaciones en cualquier lugar de los Estados Unidos.

El reporte dice que una constelación de 24 satélites con el WAAS, incluyendo 4 señales de referencias geoestacionarias, puede satisfacer los requerimientos desde navegación oceánica hasta aproximaciones instrumentales de precisión CAT I. Esto conjuntamente con el LAAS, puede satisfacer los requerimientos de aproximaciones de precisión hasta categoría III, sin mejoramiento de los satélites que se encuentran actualmente en el espacio. Para las aproximaciones CAT II/III los aeropuertos necesitarían dos LAAS, pseudo satélites y otras mejoras.

El gobierno Norteamericano pondrá en servicio una segunda frecuencia (1227.60 MHz) GPS para uso civil a partir del 2003 y la tercera (1176.45 MHz) en el 2005. Una vez que la segunda frecuencia esté en uso, no será necesario aplicar correcciones ionosféricas, ya que mejorarán las correcciones provistas por el WAAS. Igualmente, disminuirá el temor ante el tema de la interferencia.

CAPÍTULO VIII

EL CONCEPTO CNS/ATM

8.1 Introducción

El Comité Especial de Sistemas Futuros de Navegación de la OACI, Future Air Navigation System (FANS) concluyó que la única solución viable para satisfacer las necesidades de la aviación del futuro es a través de la explotación de la tecnología Satelital.

Communication Navigation Surveillance/Air Traffic Management cuyas siglas es CNS/ATM constituye el programa de modernización adoptado por la OACI con relación a la comunicación, navegación, vigilancia y gestión del tránsito aéreo. Se está implantando el CNS/ATM progresivamente, en la medida que la tecnología necesaria es desarrollada, con la finalidad de incrementar la seguridad y la eficiencia de estos sistemas, y disminuir los costos operacionales.

Los principios establecidos por la OACI para el CNS/ATM son los siguientes:

- Que tenga acceso universal.
- Que el sistema no infrinja la soberanía de los estados.
- Que la OACI mantenga la función y responsabilidad.
- Que haya intercambio de tecnología.
- Que el GNSS sea considerado un sistema mundial y aceptado por todos los Estados.
- Que el espacio aéreo sea organizado y utilizado al máximo.

- Que los estados tengan el derecho y la autoridad para recuperar parte de la inversión.

Esta integración entre las comunicaciones globales avanzadas, la navegación y vigilancia funcionará con el concurso de una gestión eficiente del tránsito aéreo, a través del empleo de tecnología digital y Satelital conjuntamente con la capacidad instalada en los aviones de última generación.

Se describen en este capítulo:

- Las limitaciones de los sistemas CNS/ATC actuales;
- Los componentes y las aplicaciones del nuevo CNS/ATM; y
- Los beneficios que proporcionará el nuevo CNS/ATM.

8.2 Limitaciones de los Sistemas CNS/ATM actuales

El sistema actual no soporta los niveles de crecimiento esperados para los próximos 25 años. Algunas de las deficiencias generales identificadas son:

- Limitaciones de distancia de propagación, precisión y confiabilidad de los sistemas de navegación y comunicaciones, debido a la curvatura de la tierra, localización de los transmisores, congestión de frecuencias, interferencias, estática, propagación, mal entendidos, idiomas, etc.
- Dificultad en implementar y operar los sistemas de una manera consistente y mundial.
- Limitaciones de las comunicaciones de voz.
- Falta de intercambio digital de datos aire-tierra para soportar la automatización.

Las limitaciones detalladas a continuación son reducidas en el cuadro proporcionado en el apéndice n° 01 parte 1 y 2 al final de éste capítulo.

8.2.1 Limitaciones en Comunicaciones

- ***Entre el piloto y el centro de operaciones de línea aérea (AOC).*** Hay regiones con escasa cobertura de comunicación de voz y enlace de datos

ACARS (Aircraft Communications, Addressing and Reporting System).

- **Entre el piloto y el controlador.** Con la comunicación de voz VHF y HF existe la posibilidad de falta de entendimiento y de confiabilidad, y durante ciertos períodos la congestión puede afectar la comunicación.
- **Entre controladores en diferentes sectores.** El sistema AFTN (Aeronautical Fixed Telecommunication Network) es ineficiente y poco confiable en algunas regiones.

8.2.2 Limitaciones en Navegación

Existen problemas en la transmisiones de los NDB, estos adolecen de los mismos problemas de propagación que las radio HF y, por consiguiente, su precisión y cobertura son limitadas. Mientras que las transmisiones VOR y DME están libres de parásitos atmosféricos (en comparación con las de los NDB) porque son de alcance óptico, los problemas de emplazamiento en terreno montañoso pueden limitar la cobertura de rutas existentes. Dado que estas ayudas para la navegación son terrenas, la estructura de las rutas aéreas depende del emplazamiento de las mismas, lo que impone una reducción en el número de rutas disponibles y da lugar a un estrangulamiento del tráfico.

8.2.3 Limitaciones en Vigilancia

La cobertura del servicio radar primario y secundario se limita a las zonas continentales y costeras lo que hace imposible su utilización en muchas regiones, sobre todo en áreas remotas y oceánicas e impone limitaciones estrictas en los terrenos montañosos y en los desiertos. Por consiguiente los proveedores de servicios ATS están obligados a utilizar criterios de separación ineficientes.

8.2.4 Control del Tránsito Aéreo

Dado que los sistemas ATS (Air Traffic Services) actuales dependen de elementos CNS, sus limitaciones están en relación directa con las deficiencias de

dichos elementos. Las deficiencias de carácter técnico puede resumirse como sigue:

Limitaciones de propagación

Limitaciones de las comunicaciones en fonía

Ausencia de cobertura mundial

Debido a estas deficiencias, en ciertas partes de la ruta aéreas existentes no se dispone en tiempo real de informes de posición ni de la maniobra que se propone efectuar el piloto, lo que a su vez exige la utilización de procedimientos ATC (Air Traffic Control). Sin embargo, estos procedimientos no ofrecen los mejores perfiles de vuelo ni la máxima capacidad ya que en general, los vuelos deben planificarse por medio de puntos intermedios en vez de seguir las rutas más directas. Por otra parte, estos procedimientos ofrecen escasas posibilidades de modificar el perfil de vuelo autorizado, lo cual significa que no pueden aprovecharse plenamente las características del equipo de a bordo moderno y que los servicios de tránsito aéreo no son siempre eficaces ni rentables.

Además, la falta de sistemas digitales de intercambio de datos aire- tierra, así como de normas comunes y de coordinación entre las distintas dependencias ATC minimiza la posibilidad de automatizar el tratamiento de información ATS. Debido al desarrollo fragmentado de los ATS, los sistemas de administración del tránsito aéreo cuando existen, no pueden garantizar la utilización óptima del espacio aéreo se limitan a proporcionar los servicios propios del ATC (sin radar/ no automatizados) en ciertas partes de las rutas aéreas existentes en todo el mundo. Así pues, con el objeto de superar estas deficiencias, es imperativo implantar cuanto antes funciones terrenas automatizadas e interoperables gracias a las que los usuarios del espacio aéreo podrán seguir sus trayectorias de vuelo preferidas con mayor flexibilidad.

8.3 Componentes y aplicaciones del nuevo CNS/ATM

El concepto CNS/ATM incorpora los componentes y las aplicaciones detalladas a continuación. Esta información está resumida en el apéndice n° 02 parte 1,2,3,4 y 5 al final de éste capítulo.

8.3.1 En comunicaciones

La comunidad de aviación civil internacional necesita de una interconexión global de transmisión de datos entre las aeronaves y las computadoras terrestres. La OACI ha desarrollado la ATN (Aeronautical Telecommunications Network) para proveer estos servicios.

El ATN funciona como una única red, utilizando a su vez interconexiones aire-tierra y tierra-tierra de computadoras funcionando con protocolos estandarizados. Este es un sistema de arquitectura abierta, el cual acepta cualquier otro sistema que use estos protocolos (Internet). Entre los beneficios se destacan:

- Se reduce el riesgo de malentendidos entre pilotos/controladores.
- Provee un medio alternativo de comunicaciones aire-tierra.
- Reduce la congestión en los canales de voz.
- Reduce los riesgos de falla en la transferencia de datos.
- Reduce la carga de trabajo piloto-controlador.
- Permite el uso de automatización.
- Reduce la coordinación entre controladores.
- Permite el intercambio preciso de información piloto/controlador.
- Provee digitalización total punto a punto.

Las comunicaciones serán de la siguiente manera:

- **Entre pilotos y el centro de operaciones de línea aérea.** El medio principal será un enlace de datos VHF. Se usarán como medios secundarios enlaces SATCOM (Satellite Communications) y HF.

- **Entre pilotos y controladores.** La comunicación de voz será mediante VHF/HF/SATCOM cuando exista cierta urgencia, y mediante enlaces de datos CPDLC (*Controller-Pilot Data Link Communications*) VHF/HF/SATCOM cuando no la hay.
- **Entre controladores.** El enlace de datos entre controlador y controlador será utilizado para incrementar la eficiencia de estas comunicaciones. Estos sistemas de comunicación formarán de la red ATN.

8.3.2 En Navegación

El GNSS es el sistema de navegación del futuro. Actualmente se encuentra conformado por los Sistemas GPS y Glonass. Los sistemas convencionales serán reemplazados durante un período de transición, a medida que sigue avanzando la tecnología Satelital. Los componentes o segmentos que conforman el sistema GNSS son:

Segmento del espacio:

Este segmento está constituido por 24 satélites en cada uno de los sistemas. Los planos orbitales, tiempos de órbita, inclinación de la órbita, etc. Son diferentes en los dos sistemas.

Segmento de control:

Este segmento efectúa la vigilancia y control de las funciones del sistema. El segmento consta de una estación maestra, estaciones de seguimiento de los satélites y estaciones para transmisión de mensajes de navegación y control. Los datos sobre tiempos y órbitas de los satélites son obtenidos por las estaciones de seguimiento y pasados a la estación maestra. La estación maestra analiza estas señales y obtiene información sobre las condiciones de los satélites. Las correcciones son efectuadas y transmitidas a los satélites para que estos mantengan la precisión y sincronización horaria. La operación del sistema requiere

la sincronización muy precisa de los relojes del satélite con los relojes del sistema terrestre.

Segmento del usuario:

Este segmento está representado por los receptores de a bordo. Actualmente hay receptores disponibles para el sistema GPS, pero no hay todavía para el GLONASS.

Las aplicaciones de la navegación GNSS son

- Adaptarse a todos los tipos de aeronave y equipos a bordo.
- Refundición de las funciones de navegación en un sistema único por vía satélite que contará con un conjunto único de aviónica y permitirá la sustitución de las antiguas ayudas para la navegación tanto a bordo como en tierra, realizando economías considerables.
- Más seguridad con mínimas de separación más reducidas, lo que automáticamente aumentará la capacidad y las posibilidades.
- Más flexibilidad para implantar la navegación de área de gran precisión recurriendo a las trayectorias de vuelo óptimas preferidas por el usuario.
- Reducción considerable de los costos de explotación gracias a la posibilidad de establecer itinerarios más directos.
- Mayor nivel de autonomía a bordo.
- Precisión en las notificaciones de la posición para que la ATM sea uniformemente de alta calidad en todo el mundo.
- Más posibilidades de aterrizaje en los aeropuertos no dotados actualmente de ayudas para las aproximaciones de precisión.
- Mejorar la capacidad de navegación y aterrizaje para poder seguir procedimientos avanzados de aproximación y despegue.

- Minimizar las demoras y circuitos de espera y ajustar los horarios para que la corriente de tránsito sea fluida, así como utilizar de manera eficiente la capacidad del espacio aéreo y de los aeropuertos.

8.3.3 Vigilancia

Existen cinco métodos de vigilancia:

- **Radar**

Los defectos de las comunicaciones de radio por fonía, son cada vez más evidentes con el incremento del tránsito aéreo.

Los controladores deben intercambiar una amplia gama de mensajes con múltiples aeronaves simultáneamente, en los espacios aéreos de mayor movimiento de tránsito.

Como resultado, las frecuencias de radio en estos momentos picos están saturadas. El consiguiente retraso con el que la información e instrucciones de control son transmitidas, pueden conducir a errores de interpretación, resultando en un peligro potencial para la seguridad aérea.

Los controladores se basan en el radar (en los controles así equipados) para obtener la información precisa de la posición de las aeronaves. El radar empleado es el primario (PSR), que usa señales de radio reflejadas y/o secundario, en el cual una señal de radio transmitida desde la estación radar inicia una señal de respuesta en el aire (respondedor de la aeronave).

Debido a que ambos sistemas de radar plotan a todas las aeronaves dentro de su alcance, el incremento del tránsito hace que se produzcan interferencias (garble) en las presentaciones de pantalla, por las respuestas superpuestas o solapadas (overlapping) de aeronaves que se encuentran muy próximas en el mismo espacio, y por el congestionamiento de los canales de radiofrecuencia disponible.

- **Modo S**

Para rectificar la situación anterior, se ha creado el sistema de Radar Modo S, formado por el Radar Secundario de Vigilancia Monopulso MSSR (Monopulse Surveillance Secondary Radar) y un enlace de datos (data-link) que proveen las funciones de vigilancia y comunicaciones compatibles con la red de telecomunicaciones aeronáuticas (ATN).

El enlace de datos modo S mejora las comunicaciones aire-tierra , permitiéndole a los controladores transmitir información solo a las aeronaves deseadas por medio de la capacidad de procesamiento monopulso del sensor modo S.

La diferencia entre respondedores antiguos y de modo S radica en lo que significa la "S" llamada selectiva. Es como la diferencia entre el telégrafo y el teléfono. La forma habitual de interrogación del radar secundario puede ser comparada con el mensaje que envía el telegrafista. Cualquier estación conectada a la red recibía el mensaje. En cambio, la interrogación selectiva del modo S, permite al radar secundario "marcar" el número asignado de una aeronave en particular, que "suena" solo en el respondedor de esa aeronave.

Cuando los respondedores Modo S son instalados en la aeronave se les asigna un código discreto de llamada, identificando la aeronave en la cual están instalados. Estos códigos de llamada están programados como parte del proceso de instalación.

En ausencia de una interrogación de Modo S, un respondedor de Modo S funcionara exactamente como un respondedor de los 4,096 códigos de respuesta actuales.

A través del uso de radares secundarios de vigilancia monopulso (MSRR), cuando se activa el respondedor Modo S, la aeronave transmite su posición e identificación. Esta información acompaña a los datos mostrados en la pantalla

del controlador, eliminando la necesidad de interpretar las imágenes radar recibidas como en los sistemas convencionales, sujetos a los errores de presentación previamente indicados (respuestas superpuestas e interferencias). Una característica exclusiva de la señal del Modo S es su enorme capacidad de asignar códigos de respondedor. En lugar del límite de los sistemas actuales de 4096 claves, el Modo S puede asignar códigos a más de 16 millones de aeronaves.

Aunque principalmente usado para fines de identificación y altitud, el enlace de datos Modo S puede también transmitir parámetros tales como Plan de Vuelo, condiciones meteorológicas, datos de mantenimiento e información adicional. La misma puede incluir ángulo de viraje de la aeronave, sistema de alerta de conflictos y datos para el control del flujo del Tránsito Aéreo que se utilizan en los sistemas automatizados de Administración del Tránsito Aéreo (ATM).

- **ADS (Automatic Dependent Surveillance):** será el sistema de vigilancia del futuro. Depende de equipos instalados a bordo. Funciona en áreas oceánicas y remotas. Con el advenimiento del GNSS, la información de velocidad y de posición (vertical y horizontal) es disponible instantáneamente en la cabina de mando. Por medio de transmisores y receptores simples (VHF, HF, SATCOM), esta información puede ser compartida con el control terrestre y con otra aeronave ACAS (Airbone Collision Avoidance System). El ADS incluye información periódica, de eventos y por requerimiento.
- **ACAS (Airborne Collision & Avoidance System):** se ha convertido en un elemento importante en la transición a sistemas avanzados de vigilancia. Constituye un respaldo a la labor de separación de tráfico realizada por el controlador. La comunicación entre aeronaves es a través del SSR y la nueva generación será por medio del ADS.

- **Reporte de posición de piloto:** se continuará utilizando en esas áreas con tecnología insuficiente o remotas, bien sea a través de VHF, HF, SATCOM.

8.3.4 Gestión de tránsito aéreo ATM (*Air Traffic Management*)

Introducción

La función básica de la gestión de tránsito aéreo, es el ordenamiento seguro del flujo del tráfico aéreo. Las funciones del ATM deben permitir a los operadores el cumplimiento de sus horas planificadas de salida y llegada, la selección de la trayectoria y niveles requeridos con las menores restricciones y sin comprometer los niveles de seguridad.

El ATM incluye los servicios de tránsito aéreo, la organización del espacio aéreo, las instalaciones y equipos relacionados y los niveles de requerimientos de comunicación, navegación y vigilancia para obtener los beneficios del CNS/ATM.

Se presenta un cambio de las funciones del controlador de tránsito aéreo de "Controlador" a "Administrador". Sólo intervendrían para asegurar la separación preestablecida requerida, prevenir la incursión a espacios aéreos restringidos y evitar la saturación de aeropuertos o la capacidad de tráfico en el sistema.

Los objetivos del ATM son:

- Mantener o incrementar los niveles de seguridad
- Incrementar la capacidad del sistema
- Uso dinámico de las trayectorias de vuelo y niveles preferidas por el usuario
- Colaborar en el proceso de decisión
- Minimizar las demoras
- Establecer un espacio aéreo transparente sin transiciones
- Proveer de información ampliada a los usuarios: meteorología, tráfico, información de aeropuertos, etc.

Se describen a continuación tres temas que formarán parte integral del sistema

ATM del futuro: RVSM, RNP y el vuelo libre.

Reducción de la Separación Mínima Vertical RVSM (*Reduced Vertical Separation Minimum*)

El concepto RVSM tiene como objetivo incrementar el volumen del tráfico que puede en un momento dado utilizar el espacio aéreo en áreas saturadas actualmente, sin comprometer la seguridad del vuelo.

La implantación RVSM se ha iniciado en el Atlántico Norte (NAT) en el espacio aéreo MNPS (Minimum Navigation Performance Specifications), o Especificaciones Mínimas de Performance de Navegación, el cual está comprendido entre la latitud de 27° Norte y el Polo Norte, limitado al Este por los bordes de las áreas de control oceánico de Santa María, Shanwick y Reykjavick, y en el Oeste por los límites oceánicos de New York excluyendo el área Oeste de 60° W y 38° 30' N.

Actualmente, las aeronaves en ciertos sectores son autorizadas a cruzar el océano a niveles de vuelo cuya separación es de 2,000 pies, 60 NM de separación horizontal, y 10 minutos de separación longitudinal. Esta prevista la implantación del programa RVSM en diferentes zonas, tales como: Golfo de México, Corredor Europa-Atlántico Sur, etc. La separación mínima será reducida en varias etapas. Se espera que con el programa RVSM se logrará un incremento notable en la capacidad de tráfico.

Los requerimientos mínimos de equipos para la implantación del RVSM en una aeronave son:

- 2 sistemas independientes de medida de altitud;
- 1 transponder con capacidad de reporte de altitud;
- 1 sistema de alerta de altitud;
- 1 sistema de control de altitud acoplado al piloto automático.

Rendimiento Requerido de Navegación RNP (*Required Navigation Performance*)

El crecimiento continuo de la aviación ha resultado en la saturación del espacio aéreo en ciertas partes del mundo. Esta saturación impide volar a los destinos deseados, a la hora planificada, por las rutas y los niveles óptimos.

Se está desarrollando el concepto RNP con el objetivo de utilizar el espacio aéreo de una manera mucho más eficiente, para así incrementar el volumen de tráfico que puede utilizarlo y para reducir los costos operacionales al usuario.

Este concepto es un término genérico, el cual permite definir los requerimientos de un espacio aéreo sin hacer referencia a un sistema de navegación. Un valor específico de RNP define las características individuales de navegación de cada aeronave en relación con los requerimientos de navegación de un espacio aéreo en particular.

El RNP es en función del espacio aéreo y no del equipamiento de la aeronave. Esto significa que independientemente de la aviónica utilizada y de los métodos, la aeronave debe de cumplir con los parámetros exigidos para transitar por dicho espacio.

El concepto RNP contempla asignar a los diferentes sectores aéreos (como áreas terminales, en ruta doméstica, en ruta oceánica, aproximación y salida) un requerimiento en cuanto a la precisión de navegación.

Para poder operar en un sector determinado, el usuario deberá tener la capacidad de navegar con la precisión mínima requerida por lo menos el 95 % del tiempo. Se aplicarán valores de RNP menores en las fases de despegue y aterrizaje, y los mayores en la fase de ruta (crucero).

Se han desarrollado cinco tipos de valores RNP: 1, 4, 10, 12.6 y 20, los cuales representan precisiones de: 1, 4, 10, 12.6 y 20 NM. Los valores más restrictivos

pueden ser cumplidos por las aeronaves con sistemas modernos de navegación, tales como los INS/IRS, DME y GNSS. Se utilizarán los RNP 1, 4 y 10 para rutas continentales donde lo exige el volumen de tráfico y el RNP 12.6 para el espacio oceánico de alta densidad de tráfico.

Para zonas oceánicas con escaso volumen de tráfico, se seleccionó RNP 20. Se determinó que el 95% del tiempo la deriva INS/IRS es ligeramente inferior a 2 NM por hora. Reconociendo que en pocos tramos oceánicos se requerirá más de 10 horas de vuelo, se anticipa que las aeronaves que operan actualmente por las rutas oceánicas podrán cumplir con el RNP 20.

Actualmente, numerosas aeronaves disponen de un FMS (*Flight Management System*) cuya instalación es parte integral del sistema de aviónica. El FMS consta de una computadora con capacidad de navegación lateral y vertical. Cuenta con una amplia base de datos actualizada cada 28 días, la cual permite programar rutas. El sistema FMS actualiza constantemente la posición, sintonizando radioayudas (DME, VOR, Localizador) o recibiendo información del GPS.

Por lo tanto, el cumplimiento de los valores RNP establecidos para determinadas áreas está directamente relacionado con la capacidad de la aviónica instalada, así como la infraestructura regional (DME, VOR, Localizador).

Los beneficios del RNP son:

- La creación de espacios aéreos sin transición.
- Reduce la necesidad de espacios aéreos híbridos (MNPS, MNPR, etc.)
- Mejora la utilización y la eficiencia del espacio aéreo.
- Reduce la necesidad de diferentes tipos de aviónica.
- Define el espacio aéreo independientemente del sistema de navegación utilizado.

Antes de que cualquier Estado modifique las distancias de separación en ruta y

distancias mínimas entre aeronaves, deberá tomar en cuenta la infraestructura del espacio aéreo, en donde las comunicaciones y vigilancia son factores de importancia así como la capacidad del espacio aéreo, índice de ocupación o de frecuencia de cruces. La puesta en práctica de la RNP mejorará la capacidad y eficiencia del sistema de tráfico aéreo al mismo tiempo que mejorará la seguridad del sistema.

Vuelo libre

El concepto de vuelo libre tiene como objetivo incrementar la eficiencia del vuelo mediante una selección dinámica de trayectorias por parte del usuario. El concepto incorpora dos perímetros de escudo denominados “zona de protección” y “zona de alerta”. Estos perímetros se asemejan a las zonas de “traffic advisory” y “traffic resolution” del Sistema ACAS. (Airbone Collision Avoidance System)

Sin embargo, las zonas de protección y alerta cambiarían de tamaño según la velocidad, rendimiento de la aeronave y las características del equipo. Para asegurar las operaciones, las zonas de protección de dos aeronaves jamás deberán encontrarse. La zona de alerta de una aeronave, cuya proyección es mucho mayor, puede encontrarse con la de otra aeronave. En ese momento, los pilotos o el controlador determinarán si es necesaria una acción evasiva. Teóricamente, el piloto puede maniobrar su aeronave libremente, hasta que no se encuentren dos zonas de alerta.

El CDTI (Cockpit Display of Traffic Information), es un sistema de vigilancia aire-aire en desarrollo, el cual utiliza información proveniente del ADS acerca de los tráficoes en el área, permitiéndole eventualmente al piloto, utilizarlo para establecer propia separación en ascensos, descensos y operaciones en áreas.

8.4 Beneficios Del Nuevo CNS/ATM

La implementación del CNS/ATM es la iniciativa mancomunada y más compleja que se ha llevado a cabo en la historia de la aviación civil. Requerirá niveles de cooperación sin precedentes entre gobiernos, operadores, proveedores de servicios y fabricantes. Una de los grandes limitantes es la educación, ya que muchas de las personas en las cuales recae la responsabilidad de implementar esta tecnología, carecen de entrenamiento o educación acerca del uso técnico/operacional de la misma.

Entre los beneficios derivados se encuentran:

- Reducción en los estándares de separación
- Trayectorias y rutas flexibles, o navegación punto a punto
- Mejoramiento de la seguridad
- Reducción en costos para el usuario y el proveedor de servicio
- Reducción de la carga de trabajo para el piloto y el controlador

Una información resumida de los beneficios del nuevo sistema se muestra en el apéndice n° 03 partes 1,2,3,4 al final de éste capítulo.

8.4.1 En Comunicaciones

Con las comunicaciones de datos, los enlaces entre los sistemas automatizados terrestres y de a bordo serán más directos y eficaces. La tramitación y transferencias mejoradas de datos entre explotadores, aeronaves y proveedores de Servicios de Tránsito Aéreo, aliviarán la congestión de canales, reducirán los errores de comunicación de voz debidos a la interferencia y/o los idiomas y permitirán el enlace eficaz de los sistemas terrestres y los sistemas de abordó. Este enlace favorecerá el suministro de los servicios de Administración del Tránsito Aéreo. Además se obtendrá los siguientes beneficios:

- i) Introducción gradual de capacidad de navegación de área (RNAV), de

conformidad con los criterios de Performance de Navegación requerida (RNP). La RNP se define en términos generales como la misma desviación prevista de las aeronaves con respecto a su derrota asignada dentro de un cierto margen de probabilidad.

ii) El Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS) que en el momento actual consiste de los Satélites de posicionamiento Global (GPS) de los Estados Unidos y de los satélites GLONASS de Rusia, proporcionará cobertura mundial y se utilizará para la navegación de las aeronaves y para aproximaciones de no precisión. También es posible efectuar aproximaciones de precisión con carácter habitual. Además, el GNSS podrá utilizarse para proporcionar guía de movimiento en la superficie.

iii) Se retirarán gradualmente los radiofaros no direccionales (NDB) y los radiofaros omnidireccionales en VHF / equipo radiotelemétrico (VOR, DME).

8.4.2 En Navegación

i) El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) proporcionará un sistema de navegación mundial de alta integridad y precisión que se podrá utilizar como único medio de navegación en las operaciones en ruta, en el área terminal en las aproximaciones y aterrizajes que no sean de precisión y posiblemente en las de precisión Categoría I, II y III.

ii) Las aeronaves podrán navegar en todos los entornos del espacio aéreo en cualquier parte del mundo, usando aviónicos para navegación por satélite. Las ayudas para la navegación instaladas en tierra se utilizarán cada vez menos y es posible que en futuro sean retiradas, lo que implicaría ahorros significativos para los Estados proveedores.

iii) Con el nuevo sistema podrá utilizarse pistas que no dispongan de sistemas de aterrizaje de precisión, para aproximaciones instrumentales CAT I, II y III en el

futuro, lo que amplía la perspectiva de contar con servicios de transporte aéreo mejorados en numerosas regiones del mundo. Finalmente, al proporcionar la base de un sistema de guía y control de movimiento en la superficie de precisión, el GNSS permitirá aumentar la capacidad aeroportuaria.

8.4.3 En Vigilancia

i) En las regiones oceánicas y en algunas regiones continentales donde los informes orales de posición son el único medio de vigilancia disponible. La Vigilancia Dependiente Automática (ADS) aportará un beneficio importante en corto tiempo. El servicio ADS servirá de base para mejoras potencialmente importantes desde el punto de vista de la seguridad de los vuelos y de sus gastos de operación. Al utilizarse el ADS con el apoyo de comunicaciones directas piloto- controlador, el actual control de tránsito aéreo procedural (basado en reportes verbales de los pilotos y estimas de tiempo de pilotos/controladores) podrá evolucionar hasta que sea posible proporcionar servicios de tránsito aéreo de manera muy similar a los que se ofrecen hoy en día en el espacio aéreo con control radar.

ii) Además de lograr la notificación de una mejor y más precisa posición de las aeronaves, con el uso del ADS podrán reducirse las mínimas de separación en el presente espacio aéreo no-radar. Con estas reducciones disminuirán las demoras y las desviaciones de las trayectorias de vuelo preferidas, y se reducirán los gastos de vuelo en comparación con las operaciones actuales.

iii) Con el ADS también será posible aumentar la flexibilidad del control de tránsito aéreo (ATC), permitiendo a los controladores responder de mejor manera a las preferencias de vuelo de las aeronaves. Esta flexibilidad también contribuirá a ahorrar en lo que se refiere a gastos por operaciones de vuelo.

8.4.4 En Gestión del Tránsito Aéreo

El término Administración Del Tránsito Aéreo es usado para describir las actividades Administrativas del espacio aéreo y del manejo del tránsito llevados en forma conjunta entre las autoridades aeronáuticas que tienen que ver con la planificación y organización del uso efectivo del espacio aéreo y del movimiento del tránsito aéreo dentro de sus regiones de responsabilidad.

La ATM consiste de una parte terrena y de una parte aérea, en donde ambas partes están integradas a través de procedimientos e interfaces bien definidos.

La parte terrena del ATM comprende los Servicios de Tránsito Aéreo (ATS) y la Administración de la Afluencia del Tránsito Aéreo AFTM (Air Traffic Flow Management).

Los objetivos generales de la ATM son permitir a los operadores alcanzar sus horas de partida y arribo y seguir sus perfiles preferidos con los mínimos perjuicios y sin comprometer el nivel de seguridad. El concepto de Administración del Tránsito Aéreo no es nuevo: los objetivos descritos y las actividades relacionada con los mismos han sido practicados mundialmente por muchos años. Por lo tanto, el énfasis debería hacerse en el mejoramiento de los medios a aplicarse y de los servicios a proveerse basándose en la aplicación de una selección de sistemas disponibles de nueva tecnología.

SISTEMAS CONVENCIONALES	LIMITACIONES				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
COMUNICACIONES					
Sistemas Convencionales Entre la tripulación y el centro de operaciones de línea aérea Entre la tripulación y los controladores Entre controladores	<ul style="list-style-type: none"> • Voz – VHF • Enlace de datos VHF • Voz – VHF • AFTN (teletipo) • Línea terrestre 	<ul style="list-style-type: none"> • Voz – VHF • Enlace de datos VHF • Voz – VHF • AFTN (teletipo) • Línea terrestre 	<ul style="list-style-type: none"> • Voz – VHF • Enlace de datos VHF • Voz – HF • Voz – VHF • Voz – HF • AFTN (teletipo) • Línea terrestre 	<ul style="list-style-type: none"> • Voz - VHF • Enlace de datos VHF • Voz - VHF • AFTN (teletipo) • Línea terrestre 	<ul style="list-style-type: none"> • Voz - VHF • Enlace de datos VHF • Voz - VHF • AFTN (teletipo) • Línea terrestre
Limitaciones del Sistema <ul style="list-style-type: none"> • Voz – VHF • Enlace de datos VHF • Voz – HF • AFTN 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de cobertura en áreas remotas, infraestructura atrasada, congestión de frecuencias en los aeropuertos más grandes • La disponibilidad de ACARS es limitada • Susceptible a la interferencia, falta de confiabilidad • Ineficiente, poco confiable, infraestructura atrasada 				
NAVEGACIÓN					
Sistemas Convencionales		<ul style="list-style-type: none"> • VOR DME NDB INS IRS FMS 	<ul style="list-style-type: none"> • VOR DME NDB INS IRS FMS 	<ul style="list-style-type: none"> • VOR DME NDB INS IRS FMS 	<ul style="list-style-type: none"> • ILS VOR DME NDB
Limitaciones de los Sistemas		<ul style="list-style-type: none"> • VOR DME NDB-disponibilidad/confiabilidad • VOR DME NDB INS IRS-precisión • Limitaciones RNAV • Ubicación de estaciones terrestres 	<ul style="list-style-type: none"> • VOR DME NDB-disponibilidad/confiabilidad • VOR DME NDB INS IRS-precisión • Limitaciones RNAV • Ubicación de estaciones terrestres 	<ul style="list-style-type: none"> • VOR DME NDB-disponibilidad/confiabilidad • VOR DME NDB INS IRS-precisión • Limitaciones RNAV • Ubicación de estaciones terrestres 	<ul style="list-style-type: none"> • VOR DME NDB-disponibilidad/confiabilidad • VOR DME NDB-precisión • Costo de equipo-ILS • Ubicación de estaciones terrestres

SISTEMAS CONVENCIONALES	LIMITACIONES				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
VIGILANCIA					
Sistemas Convencionales	<ul style="list-style-type: none"> • Visual 	<ul style="list-style-type: none"> • Radar primario • Radar secundario 	<ul style="list-style-type: none"> • Radar primario • Radar secundario 	<ul style="list-style-type: none"> • Radar primario • Radar secundario 	<ul style="list-style-type: none"> • Radar primario • Radar secundario • Visual
Limitaciones de los Sistemas <ul style="list-style-type: none"> • Visual • Radar primario • Radar secundario 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance, necesidad de vista libre a la aeronave • Disponibilidad, confiabilidad, alcance, costo • Disponibilidad, confiabilidad, alcance, costo 				
GESTIÓN DEL TRANSPORTE AEREO					
Procedimientos Convencionales	<ul style="list-style-type: none"> • Según los SARPS • Separación con radar o con procedimientos 	<ul style="list-style-type: none"> • Según los SARPS • Separación con radar o con procedimientos 	<ul style="list-style-type: none"> • Según los SARPS • Separación con radar o con procedimientos 	<ul style="list-style-type: none"> • Según los SARPS • Separación con radar o con procedimientos 	<ul style="list-style-type: none"> • Según los SARPS • Separación con radar o con procedimientos
Limitaciones ATC		<ul style="list-style-type: none"> • Incapaz de ofrecer las rutas más eficientes • Problemas debidos a diferentes idiomas • Sistema reactivo • Precisión • Volumen de tráfico • Requiere comunicación verbal • Ineficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Incapaz de ofrecer las rutas más eficientes • Problemas debidos a diferentes idiomas • Sistema reactivo • Precisión • Volumen de tráfico • Requiere comunicación verbal • Ineficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Incapaz de ofrecer las rutas más eficientes • Problemas debidos a diferentes idiomas • Sistema reactivo • Precisión • Volumen de tráfico • Requiere comunicación verbal • Ineficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Incapaz de ofrecer las rutas más eficientes • Problemas debidos a diferentes idiomas • Sistema reactivo • Precisión • Volumen de tráfico • Ineficiente

COMPONENTES DEL CNS/ATM	APLICACIONES DEL CNS/ATM				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
COMUNICACIONES					
Entre la tripulación y el centro de operaciones de línea aérea					
• Voz – VHF	• Sirve para respaldar la comunicación por enlace de datos, el medio preferido				
• Voz – HF	• Sirve para respaldar la comunicación por enlace de datos, el medio preferido				
• Voz – SATCOM	• Sirve para respaldar la comunicación por enlace de datos, el medio preferido				
<ul style="list-style-type: none"> • Enlace de datos-VHF - Usado por la tripulación para comunicar: - Usado por el centro de operaciones de línea aérea para comunicar: 	<ul style="list-style-type: none"> • La hora de salida y despegue • Peso balance, plan de vuelo, datos de performance • Datos meteorológicos /NOTAMS 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos sobre los motores • Cambios al plan de vuelo • Datos meteorológicos /NOTAMS 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos sobre motores • Reportes para mantenimiento • Reportes de posición y de condiciones meteorológicas • Cambios al plan de vuelo • Datos meteorológicos /NOTAMS • Autorización oceánica • Ajustes a las autorizaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos sobre los motores • Reportes para mantenimiento • Requerimientos de puerta • Provisiones • Datos meteorológicos /NOTAMS • Puerta de llegada • Puertas de conexión • ATIS 	<ul style="list-style-type: none"> • La hora de aterrizaje y llegada al terminal • Datos sobre el combustible • Datos sobre la tripulación
• Enlace de datos – HF	• Usado para los mismos mensajes de arriba, pero en áreas remotas y oceánicas				
• Enlace de datos – SATCOM	• Usado para los mismos mensajes de arriba, pero en áreas remotas y oceánicas				
Entre la tripulación y los controladores					
• Voz – VHF	• Usado para comunicaciones urgentes, como la autorización para el despegue				
• Voz – HF			• Usado en áreas remotas y oceánicas		
• Voz – SATCOM			• Usado en áreas remotas y oceánicas		

COMPONENTS DEL CNS/ATM	APLICACIONES DEL CNS/ATM				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
<ul style="list-style-type: none"> • Enlace de datos - Usado por la tripulación para: - Usado por ATC para: 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener ATIS/NOTAMS, solicitar autorización para encender motores, push back, carreteo • Transmitir autorizaciones: de ruta, encender motores, remolcar, carreteo 	<ul style="list-style-type: none"> • Enviar/solicitar reportes meteorológicos • Solicitar cambio de ruta • Enviar/solicitar reportes meteorológicos • Comunicar cambio de ruta • Enviar NOTAMS • Enviar ajustes de altímetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Enviar/solicitar reportes meteorológicos • Solicitar cambio de ruta • Enviar/solicitar reportes meteorológicos • Comunicar cambio de ruta • Enviar NOTAMS • Enviar ajustes de altímetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener ATIS/NOTAMS • Enviar/solicitar reportes meteorológicos • Enviar/solicitar reportes meteorológicos • Comunicar cambio de ruta • Enviar NOTAMS • Enviar ajustes de altímetro • Asignar la pista de aterrizaje y el procedimiento que deberá ser usado 	
Entre controladores					
<ul style="list-style-type: none"> • Enlace de datos 	<ul style="list-style-type: none"> • Usado para comunicaciones rutinarias y resolución de conflictos/alertas 	<ul style="list-style-type: none"> • Usado para comunicaciones rutinarias y resolución de conflictos/alertas 	<ul style="list-style-type: none"> • Usado para comunicaciones rutinarias y resolución de conflictos/alertas 	<ul style="list-style-type: none"> • Usado para comunicaciones rutinarias y resolución de conflictos/alertas 	<ul style="list-style-type: none"> • Usado para comunicaciones rutinarias y resolución de conflictos/alertas
TODA COMUNICACIÓN AIRE-TIERRA Y TIERRA-TIERRA					
<ul style="list-style-type: none"> • Red de telecomunicaciones aeronáutica (ATN) 	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema integrado del futuro para toda la comunicación de voz y por enlace de datos, a nivel global 				

COMPONENTS DEL CNS/ATM	APLICACIONES DEL CNS/ATM				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
NAVEGACIÓN					
SEGMENTO DEL ESPACIO					
<ul style="list-style-type: none"> • Satélites GPS (24) - Cuando se usa el GPS como medio de navegación suplementario - Cuando se usa el GPS como medio de navegación primario (áreas remotas y oceánicas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser usado el GPS desde el despegue • Puede ser usado el GPS desde el despegue 	<ul style="list-style-type: none"> • Se deberá mantener disponible la navegación convencional (INS/IRS, VOR, NDB) • No es necesario monitorear la navegación convencional siempre y cuando esté disponible el RAIM • No es necesario mantener disponible la navegación convencional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se deberá mantener disponible la navegación convencional (INS/IRS, VOR, NDB) • No es necesario monitorear la navegación convencional siempre y cuando esté disponible el RAIM • No es necesario mantener disponible la navegación convencional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se deberá mantener disponible la navegación convencional (INS/IRS, VOR, NDB) • No es necesario monitorear la navegación convencional siempre y cuando esté disponible el RAIM • No es necesario mantener disponible la navegación convencional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Con una aproximación GPS superpuesta de Clase III, no es necesario monitorear la radio ayuda convencional, esta puede estar inoperativa¹ • Se puede implantar aproximaciones GPS autónomas donde no hay radio ayuda • Igual que arriba

¹ Aplican los siguientes requerimientos: 1) estará disponible RAIM, 2) si es necesario identificar en el plan de vuelo un aeropuerto alternativo, este aeropuerto deberá tener una aproximación convencional, y el avión deberá estar debidamente equipado para ejecutar la aproximación convencional

COMPONENTS DEL CNS/ATM	APLICACIONES DEL CNS/ATM				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
<ul style="list-style-type: none"> • Satélites GLONASS 	<ul style="list-style-type: none"> • Serán usados de una manera similar a los satélites GPS. No han sido publicadas normas para el uso de los satélites GLONASS. 				
<ul style="list-style-type: none"> • Satélites geoestacionarios de los sistemas SBAS (WAAS, EGNOS, MTSAT) 	<ul style="list-style-type: none"> • Los sistemas SBAS incorporan satélites geoestacionarios que retransmiten al usuario las correcciones diferenciales regionales calculadas por el componente terrestre. Los sistemas SBAS permitirán el uso de los satélites GPS como medio de navegación primario en todas partes. Permitirán además el desarrollo de aproximaciones de precisión Categoría I (probablemente con mínimos mayores) en toda la región cubierta por el sistema SBAS. 				
SEGMENTO DE TIERRA					
<ul style="list-style-type: none"> • Red de estaciones que forman parte de los sistemas GPS y GLONASS actuales 	<ul style="list-style-type: none"> • Se ha instalado una red para monitorear y controlar los satélites GPS, y otra red para monitorear y controlar el sistema GLONASS. 				
<ul style="list-style-type: none"> • Red de estaciones que formarán parte del sistema SBAS 	<ul style="list-style-type: none"> • Las estaciones de vigilancia determinarán, continuamente, el error de posición causado por S/A a nivel regional (250 millas). Se está instalando actualmente la red terrestre del sistema WAAS de USA. Estos datos serán enviados continuamente, mediante estaciones de transmisión, a los satélites geoestacionarios. 				
<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas GBAS 	<ul style="list-style-type: none"> • Estos sistemas determinarán, continuamente, el error de posición causado por S/A a nivel local (20 millas). Estos datos serán transmitidos directamente al avión por medio de un enlace de datos VHF. Estos sistemas permiten una navegación más precisa que los sistemas SBAS. Con los primeros sistemas GBAS será posible el desarrollo de aproximaciones de precisión con mínimos iguales a un ILS CAT I. Al desarrollarse más esta tecnología será posible el desarrollo de aproximaciones de CAT II y III. 				
SEGMENTO DEL USUARIO					
<ul style="list-style-type: none"> • Receptores GPS <ul style="list-style-type: none"> - RAIM - FDE 	<ul style="list-style-type: none"> • Reciben las señales de los satélites y calculan la posición de la aeronave. • Este software monitorea continuamente a cada satélite y le notifica a la tripulación cuando uno falla. Si el receptor cumple únicamente con los requisitos del TSO-C129, el receptor quedará inoperativo al detectar un satélite fallado. (Porque el TSO-C129 no incorpora un requerimiento de poder cancelar un satélite que ha fallado.) • Este software cancela un satélite defectuoso para que se pueda seguir navegando con los demás satélites. 				

COMPONENTS DEL CNS/ATM	APLICACIONES DEL CNS/ATM				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
VIGILANCIA					
ADS	<ul style="list-style-type: none"> • Será usado para vigilar el movimiento en la superficie 	<ul style="list-style-type: none"> • Será usado para la vigilancia sobre los océanos y en áreas remotas • Será usado para la resolución de conflictos/alertas • Reemplazará los sistemas de radar vigentes 			<ul style="list-style-type: none"> • Permite monitorear los movimientos sobre la superficie
GESTIÓN DEL TRANSPORTE AÉREO					
RNP	<ul style="list-style-type: none"> • Será requerida la capacidad de navegar con una precisión horizontal mínima en los diferentes espacios aéreos 				
RVSM	<ul style="list-style-type: none"> • Será reducida la separación mínima vertical para incrementar el volumen del tráfico aéreo 				
RTA	<ul style="list-style-type: none"> • En ciertas áreas será requerida la capacidad de navegar en 4 dimensiones 				
Vuelo libre			<ul style="list-style-type: none"> • Será autorizado en ruta a niveles altos 		
Manejo del flujo del tráfico	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de tráfico automatizado • Resolución de conflictos 				

APENDICE N° 02 (PARTE 5)

COMPONENTS DEL CNS/ATM	BENEFICIOS DEL CNS/ATM				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
COMUNICACION					
Piloto - Centro de operaciones de línea aérea					
Voz – VHF	<ul style="list-style-type: none"> • Medio para comunicaciones urgentes • Sirve como respaldo al sistema de enlace de datos 				
Voz – HF	<ul style="list-style-type: none"> • Sirve como respaldo al sistema de enlace de datos 				
Voz – SATCOM	<ul style="list-style-type: none"> • Sirve como respaldo al sistema de enlace de datos 				
Enlace de datos VHF	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia máxima para comunicaciones rutinarias. Reduce mal entendimientos. 				
Enlace de datos HF	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia máxima para comunicaciones rutinarias. Reduce mal entendimientos. 				
Enlace de datos SATCOM	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia máxima para comunicaciones rutinarias. Reduce mal entendimientos. 				
Controlador – Piloto					
Voz – VHF	<ul style="list-style-type: none"> • Medio para comunicaciones urgentes. Sirve de respaldo al sistema de enlace de datos. 				
Voz – HF	<ul style="list-style-type: none"> • Medio para comunicaciones urgentes. Sirve de respaldo al sistema de enlace de datos. 				
Voz – SATCOM	<ul style="list-style-type: none"> • Medio para comunicaciones urgentes. Sirve de respaldo al sistema de enlace de datos. 				
Enlace de datos VHF	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia máxima para comunicaciones rutinarias. Reduce mal entendimientos. 				
Enlace de datos HF	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia máxima para comunicaciones rutinarias. Reduce mal entendimientos. 				
Enlace de datos SATCOM	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia máxima para comunicaciones rutinarias. Reduce mal entendimientos. 				
Controlador – Controlador					
Enlace de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor precisión, eficiencia y confiabilidad 				
Toda la comunicación aire - tierra y tierra – tierra					
ATN	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor precisión, eficiencia y confiabilidad 				

COMPONENTES DEL CNS/ATM	BENEFICIOS DEL CNS/ATM				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
NAVEGACION.					
INCREMENTO EN LA SEGURIDAD DEL VUELO	<ul style="list-style-type: none"> • La difusión de información sobre el estado del GPS es oportuno y confiable mediante los NANU. Se eliminan las sorpresas que pueden ocurrir por las deficiencias del sistema de NOTAM. 	<ul style="list-style-type: none"> • La aviónica GNSS ofrece un conocimiento superior de la posición • Con el GNSS se puede navegar con más precisión • Las condiciones meteorológicas no afectan a las indicaciones de la aviónica GNSS como es el caso con equipos NDB 	<ul style="list-style-type: none"> • La aviónica GNSS ofrece un conocimiento superior de la posición • Con el GNSS se puede navegar con más precisión • Las condiciones meteorológicas no afectan a las indicaciones de la aviónica GNSS como es el caso con equipos NDB • En caso de emergencia, la aviónica GNSS mantiene actualizada una lista de los aeropuertos más cercanos (proporciona rumbo, distancia y tiempo de vuelo a cada uno) 	<ul style="list-style-type: none"> • La aviónica GNSS ofrece un conocimiento superior de la posición • Con el GNSS se puede navegar con más precisión • Las condiciones meteorológicas no afectan a las indicaciones de la aviónica GNSS como es el caso con equipos NDB 	<ul style="list-style-type: none"> • La aviónica GNSS ofrece un conocimiento superior de la posición • Con el GNSS se puede navegar con más precisión que los sistemas VOR y NDB • Los equipos GNSS/FMS disponen de la navegación vertical, y así reducen el potencial de CFIT • Las condiciones meteorológicas no afectan a las indicaciones de la aviónica GNSS como es el caso con el equipo NDB

APENDICE N° 03 (PARTE 2)

COMPONENTES DEL CNS/ATM	BENEFICIOS POR FASE DEL VUELO				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
BENEFICIOS OPERACIONALES	<ul style="list-style-type: none"> • La implantación de rutas GNSS más cortas permite cargar menos combustible y más pasajeros • Previo al despegue se puede confirmar concretamente que estará disponible la navegación GPS a lo largo de la ruta • Se podrá ofrecer servicio a nuevos destinos donde no ha sido factible anteriormente por requerir rutas demasiado largas y/o por la falta de aproximaciones y salidas por instrumentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden optimizar las rutas y navegarlas con mayor precisión, reduciendo así el tiempo de vuelo y los costos variables (combustible, salarios, mantenimiento) • El GPS está operativo casi 100% del tiempo, lo cual elimina los atrasos y las cancelaciones debidas actualmente a equipos terrestres inoperativos • Donde el terreno es un factor, la disponibilidad de navegación precisa podría reducir el ángulo de ascenso e incrementar la carga máxima disponible 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden optimizar las rutas y navegarlas con mayor precisión, reduciendo así el tiempo de vuelo y los costos variables (combustible, salarios, mantenimiento) • El GPS está operativo casi 100% del tiempo, lo cual elimina los atrasos y las cancelaciones debidas actualmente a equipos terrestres inoperativos 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden optimizar las rutas y navegarlas con mayor precisión, reduciendo así el tiempo de vuelo y los costos variables (combustible, salarios, mantenimiento) • El GPS está operativo casi 100% del tiempo, lo cual elimina casi en su totalidad los atrasos y las cancelaciones debidas actualmente a equipos terrestres inoperativos • Con los equipos GNSS/FMS se puede determinar el momento oportuno para empezar el descenso y realizar economías de combustible 	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden optimizar las aproximaciones de no precisión y navegarlas con mayor precisión, reduciendo así el tiempo de vuelo y los costos variables • El GPS está operativo casi 100% del tiempo, lo cual elimina los atrasos y las cancelaciones debidas actualmente a equipos terrestres inoperativos • Se puede desarrollar aproximaciones de no precisión para cualquier aeropuerto sin que esté disponible un equipo terrestre

COMPONENTS DEL CNS/ATM	BENEFICIOS DEL CNS/ATM				
	 PREVIO A LA SALIDA Y DESPEGUE	 SALIDA	 EN RUTA	 LLEGADA	 APROXIMACIÓN Y ATERRIZAJE
VIGILANCIA					
ADS	<ul style="list-style-type: none"> • Permitirá la vigilancia a nivel global, incrementando así la seguridad del vuelo 				
GESTIÓN DEL TRANSPORTE AÉREO					
RNP	<ul style="list-style-type: none"> • La navegación más precisa podrá reducir el franqueamiento de obstáculos 	<ul style="list-style-type: none"> • La navegación más precisa podrá reducir el franqueamiento de obstáculos • Reduce la separación horizontal entre las aeronaves 			<ul style="list-style-type: none"> • Puede reducir el franqueamiento mínimo de obstáculos
RVSM	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementará el volumen de tráfico en un espacio determinado 				
RTA	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementará el volumen de tráfico en un espacio determinado 				
Manejo del flujo del tráfico	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en el volumen de tráfico • Uso más eficiente del espacio aéreo • Reducción en la carga de trabajo del controlador • Incremento en la seguridad del vuelo • Mejor resolución de conflictos 				

CAPÍTULO IX

EVALUACIÓN DE EQUIPOS GPS

9.1 Introducción

En éste capítulo enfocaremos sobre los equipos de abordo y terrestres desarrollados para el sistema GPS.

9.2 Equipos GPS de a bordo

Existe en el mercado una variedad de equipos de aviónica de última generación adecuados al nuevo concepto CNS/ATM. La remoción de las radioayudas solo se iniciará cuando la mayoría de las aeronaves estén equipadas con la nueva aviónica. Los usuarios llevarán a cabo la conversión a la nueva tecnología en dos etapas: la primera motivados por los beneficios operacionales del equipo y la segunda por la reducción en costo y mantenimiento de la aviónica.

El beneficio inicial del GNSS se logra con un solo receptor, así es que durante los primeros años se espera que las aeronaves estén equipadas con un solo receptor GNSS y aviónica convencional. Al iniciarse el proceso de desmantelamiento de las radioayudas, se añadirá un segundo receptor GNSS.

Aunque los beneficios operacionales motivarán el cambio voluntario, éstas modificaciones estarán determinadas por la relación costo-beneficio. De ahí la importancia de desarrollar los programas usuarios, proveedores de servicio y fabricantes, de forma coordinada. Para obtener los máximos beneficios del CNS/ATM, se requiere inversión en variedad de aviónica.

Se proporciona a continuación una lista de consideraciones que pueden formar

parte de una evaluación de la aviónica disponible actualmente.

Certificación

- TSO-C129: certificación referida a la capacidad básica del equipo y las operaciones autorizadas. Ejemplo: B1 permite una integración con otros sistemas como el piloto automático, y permite el uso del GPS como medio de navegación suplementario en ruta y para aproximaciones de no-precisión.
- Aviso 8110.60: certificación del equipo para ser usado como medio de navegación primario en áreas remotas y oceánicas.

Características y limitaciones

- Número de canales incorporados al equipo.
- Integración con el piloto automático (soporte lógico). Funciones adicionales a la navegación (ADS, ACARS).
- Capacidad de navegación (dimensiones)
- Comparación automática (instalaciones dual).
- Marcas de equipos.
- Sistema amigable al usuario.
- Fases de vuelo a ser usado.
- Limitaciones a la aeronave.

Instalación

- Dimensiones del equipo.
- Remoción e instalación de otros equipos.
- Número de componentes.

Actualización

- Compatibilidad con el GLONASS.
- Actualización del soporte lógico del equipo (*operating software*).
- Actualización con los sistemas GBAS y SBAS.

- Disponibilidad y costo de las actualizaciones.
- Compatibilidad con ADS.

Base de datos

- Actualización de la base de datos (cada 28 días)

Alternativas de actualización.

Costo.

Duración.

- Memoria

Cantidad y disponibilidad.

Datos almacenables.

Aumento y costo.

- Contenido

Posibilidades de diseño particular.

Tipos de salidas, llegadas y aproximaciones.

Mantenimiento

- Requisitos.
- Garantía.

9.3 Equipos diferenciales terrestres

9.3.1 Equipos GBAS

Para conseguir precisiones mucho mejores, con errores de solo algunos metros se ha desarrollado el concepto de GPS diferencial. Básicamente la idea consiste en disponer de una estación en tierra, situada en unas coordenadas conocidas, que dispone de un receptor GPS de suficiente número de canales. La estación monitorea continuamente los satélites GPS visibles y, puesto que la posición de la misma es conocida, puede determinarse el error de cada uno de dichos satélites. Este error será debido tanto a la disponibilidad selectiva (SA) como a propagación

atmosférica, etc.

El receptor del usuario debe ser capaz de corregir las “pseudo-distancias” con la información procedente de la estación en tierra de manera que se cancelan errores y se obtienen soluciones de navegación en tiempo real con la precisión previamente mencionada. Para obtener las consideraciones antes expuestas los equipos a utilizarse deberán cumplir las siguientes recomendaciones:

- Compatibilidad con aviónica.
- Redundancia.
- Garantía.
- Costo y requisitos de mantenimiento.
- Duración de las baterías.
- Alcance.
- Actualización.

9.3.2 Equipo SBAS

Las correcciones diferenciales generadas mediante DGPS en modo local son aplicables hasta una distancia de la estación DGPS de aproximadamente 20 millas náuticas. A mayor distancia las correcciones no son lo suficientemente precisas y este concepto debe abandonarse.

Si se quiere disponer de un esquema con precisiones por debajo de los 10 metros y con una cobertura muy grande (500 MN desde la estación) tiene que emplearse equipos diferenciales de área extensa o SBAS. La idea básica consiste en difundir, a partir de los datos obtenidos de una red de estaciones de monitorización y el procesamiento que se realice de los mismos en una estación central, las componentes de error de cada una de las fuentes.

Se están desarrollando sistemas SBAS en U.S.A., Europa y Japón. Las consideraciones solicitadas a los fabricantes de sistemas para la aplicación de

estos equipos son:

- Redundancia.
- Garantía.
- Costo y requisitos de mantenimiento.
- Duración de las baterías.
- Alcance del sistema.

CAPÍTULO X

ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO

10.1 Introducción

El desarrollo de nuevas tecnologías, forma parte integral del concepto GNSS. Estas serán más eficientes y económicas que los sistemas de navegación que reemplazan. Inicialmente, la inversión requerida para implantar el GNSS recae principalmente en los usuarios, debido a la instalación de nueva aviónica.

La primera tarea de un estudio de costo/beneficios para la implantación del CNS/ATM en un Estado o región es la especificación tecnológica de las opciones del sistema apropiadas para el espacio aéreo del Estado o de la región.

El proceso de evaluación económica entrañará la repartición de los costos y beneficios entre los proveedores del servicio de control de tránsito aéreo (ATC) y los explotadores de aeronaves, de manera que se puedan tomar medidas de costo/beneficios separadas para cada sector. No obstante, la implantación del CNS/ATM aumentará la complejidad de las relaciones entre los participantes en la industria. Con la tecnología actual de alcance óptico, las autoridades de aviación civil CAA (Civil Aviation Authority) de los Estados normalmente proporcionan los servicios directamente a las líneas aéreas. Con el nuevo sistema, otros proveedores de algunos de los servicios llegarán a ocupar un lugar más prominente. Por ejemplo, los proveedores multinacionales de servicios como Inmarsat podrán actuar como intermediarios entre las CAA y las líneas aéreas en el suministro de las comunicaciones por satélite. Además, otras organizaciones

podrán proporcionar otros elementos de la Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas (ATN) y servicios GNSS así como servicios de Vigilancia de la integridad GNSS.

En la medida que avanza el uso básico del GNSS, en la navegación en ruta y para aproximaciones de no - precisión, se requerirá de una inversión importante por parte de las Direcciones General de Aviación Civil en equipos de aumentación local y regional. Durante los próximos años, el gobierno norteamericanos ha ofrecido el GPS para el uso civil sin ningún cargo. Es posible que después de éste período se imponga un cargo a los usuarios para apoyar el mantenimiento y el desarrollo del sistema.

10.2 Usuarios

Los costos más importantes para los usuarios son:

- El equipo GPS - Hay disponibles equipos básicos desde US \$5,000 hasta \$15,000, más el costo de la instalación, que sirven para la aviación general tanto como las líneas aéreas que operan aeronaves de tamaño pequeño o mediano. - Para los sistemas de mayor capacidad los precios varían entre US \$15,000 y \$150,000.
- El mantenimiento de la base de datos.
- El entrenamiento de los pilotos, el personal de mantenimiento y control de operaciones.

El valor de los beneficios varía considerablemente entre los usuarios en base de las rutas utilizadas actualmente y las aproximaciones disponibles en los destinos. Al justificar la inversión en los equipos GPS, cada usuario deberá asignar un valor a lo siguiente:

- Ahorro de tiempo y costos variables (combustible, mantenimiento, salarios) en ruta que son posibles con la navegación directa que proporciona la navegación

Satelital.

- Ahorro de tiempo y costos variables durante la aproximación debido al diseño de procedimientos más eficientes.
- La reducción anticipada en retrasos, cancelaciones e idas al aeropuerto alternativo. Esto es posible debido a la disponibilidad del sistema GNSS y a la reducción de los mínimos operacionales que podrán ser desarrollados en ciertos aeropuertos.
- El incremento en la seguridad del vuelo que proporcionará la navegación horizontal y vertical, (LNAV, VNAV) y consecuentemente una reducción en la posibilidad de un accidente CFIT (*Controlled Flight Into Terrain*).

Hay muchas líneas aéreas, que al completar éste análisis, han determinado que es factible recuperar la inversión en equipos GPS básicos en un período de 12 meses o menos.

10.3 Autoridades Aeronáuticas

Los Estados deberán determinar sus necesidades reales de elementos CNS/ATM. Las demostraciones y ensayos son importantes y necesarias en el desarrollo del CNS/ATM. Uno de los grandes impedimentos, son los altos costos de implantación, sin embargo, los Estados necesitarán evaluar y analizar el costo de mantenimiento de sus sistemas actuales y limitaciones y compararlos con el costo de los nuevos sistemas asociados con los nuevos beneficios.

Muchos Estados han minimizado los costos desarrollando iniciativas propias en ciertos aspectos del ambiente CNS/ATM, ofreciendo mejoras limitadas a la navegación sin grandes inversiones como en el caso de las aproximaciones de no - precisión superpuestas. Este programa de superposición, puede ser adaptado para rutas directas y para procedimientos de salida y de llegada, fácil de implementar y poco costoso.

El único costo sería el levantamiento WGS-84 de los aeropuertos seleccionados y los asociados con el desarrollo del procedimiento, publicación e inspección de vuelo.

El beneficio mayor es la remoción de las radioayudas. Con el GNSS no hay la necesidad de instalación de ciertas estaciones, dependiendo del sistema seleccionado. Normalmente, el ahorro resultante de la eliminación de las antiguas radioayudas cubre el costo de la implantación del CNS/ATM.

El impacto económico del CNS/ATM dependerá de las circunstancias de la región en la que se está implantando. Las economías de costo derivadas del retiro de ayudas a la navegación basadas en tierra y de los radares aumentará para los proveedores de servicios ATC y de gestión del tránsito. Los transportistas aéreos recibirán beneficios financieros de la capacidad acrecentada del espacio aéreo y/ o de la mayor cantidad de rutas de vuelo directas.

En los espacios aéreos continentales con sistemas de la tecnología actual altamente desarrollados, el evitamiento de la necesidad de mantener y reemplazar los sistemas existentes da por resultado economías sustanciales en los costos. Hay pocos beneficios de esta fuente en los espacios aéreos sin sistemas de la tecnología actual (por ejemplo océanos, zonas remotas). Por otro lado, la instalación de sistemas CNS/ATM tendrá un mayor impacto positivo sobre la calidad de los servicio de navegación y vigilancia y de ahí las oportunidades para más vuelos directos, en estos últimos espacios aéreos que en los que tienen los sistemas amplios existentes en que las trayectorias de vuelo pueden ya ser relativamente directas.

CAPÍTULO XI

PLAN DE IMPLANTACIÓN DEL GNSS

11.1 Introducción

La OACI apoya la realización de ensayos y demostraciones del GNSS el cual se indica en la *Circular 267-AN/159, Directrices Para La Introducción Y Uso Operacional Del Sistema Mundial De Navegación Por Satélite*: "Los ensayos y demostraciones para comprobar la veracidad de conceptos sirven dos propósitos: En primer lugar, brindan a las autoridades de aviación civil experiencia operacional con el GNSS y la oportunidad de recolectar datos y convalidar el sistema. En segundo lugar, pueden brindar a los usuarios mayores beneficios operacionales y la oportunidad anticipada de adquirir experiencia en el uso del GNSS.

La Circular 267-AN/159 añade: "En tanto se desarrollan las Normas y Métodos Recomendados (SARPS), los Estados pueden obtener beneficios anticipados de la tecnología Satelital utilizando este material de orientación. Consecuentemente, el Plan de Ensayos y Demostraciones del GNSS en el Caribe se basa en la Circular 267-AN/159, a la que se hace referencia a todo lo largo del Plan. Como algunos participantes utilizarán el GPS en el espacio aéreo de Estados Unidos, también se hace referencia a las regulaciones de la FAA.

Según lo exigido por las CAA participantes, el Plan de Ensayos y Demostraciones del GNSS incorpora ciertos requisitos y limitaciones operacionales que superan a los indicados en la Circular 267-AN/159y en los documentos de la FAA. Estos requisitos y limitaciones, identificados en el Plan con la anotación

"Requisito regional", garantizan la transición ininterrumpida, segura y eficaz al GNSS. Conforme se vaya adquiriendo mayor experiencia, se prevé que los participantes irán avanzando hacia la plena implementación del nuevo sistema.

El proceso de implantación del GNSS consistirá de tres fases:

Fase I

Durante la primera fase de la implantación del GNSS, no es necesario ninguna inversión en equipos de parte de las autoridades aeronáuticas. Para apoyar el uso del GNSS en ruta como medio suplementario y primario, se requiere únicamente:

- Proporcionar un adiestramiento al personal que es afectado por esta nueva tecnología, como son los controladores y los responsables de dictar políticas; y
- Preparar y publicar una circular informativa con la normativa que aplicará a la navegación GNSS en el Estado.

Fase II

Para muchos Estados, la segunda fase de la implantación del GNSS consiste en la implantación de aproximaciones de no-precisión, sean aproximaciones superpuestas o autónomas.

En ambos casos, el desarrollo del procedimiento está basado en coordenadas geodésicas de alta precisión para puntos, tales como: las cabeceras y los obstáculos. El desarrollo de estas coordenadas, para la gran mayoría de los Estados, requiere la ejecución de un nuevo levantamiento geodésico WGS-84 en cada aeródromo.

La OACI ha publicado normas para este trabajo. El costo de un levantamiento aeroportuario que cumpla con todos los requisitos de la OACI, incluyendo la actualización de las cartas del aeródromo, podría variar entre US \$20,000 y \$100,000 en base a lo siguiente:

- Si existe "control geodésico" en la región, el trabajo de campo tomará menos

tiempo. Control geodésico se refiere a puntos geodésicos que son establecidos con alta precisión, por ejemplo entre 3 y 8 cm. Estos puntos de control, una vez establecidos, son usados como referencia para incrementar la precisión de todos los demás puntos geodésicos que son desarrollados en esa región.

- El número de pistas, pistas de rodaje y las rampas de estacionamiento. El borde de todas estas superficies, y el centro de algunas, debe ser medido en forma muy precisa.
- La cantidad de obstáculos que existe en el aeródromo y en sus alrededores. La OACI requiere la medición (coordenadas y elevación) de cada obstáculo o grupo de obstáculos, si están muy de cerca los unos a los otros, que penetran ciertos planos que protegen a las aeronaves.

La publicación de cartas aeronáuticas con referencia al WGS-84 es requerida por la OACI en el Anexo 15, a partir del 1 de enero de 1998.

Fase III

La Fase III consiste de la instalación de sistemas de aumentación local (GBAS: Ground Based Augmentation System) y regional (SBAS: Satellite Based Augmentation System).

Se están implantando los primeros sistemas GBAS para proporcionar aproximaciones de Categoría I. El costo de estos sistemas es de aproximadamente US \$300,000 instalado. Es importante reconocer que para desarrollar aproximaciones de Categoría especial I (SCAT-I), es necesario que sea completado primero un levantamiento aeroportuario con referencia al WGS-84.

Se está implantando el primer sistema SBAS por U.S.A., Canadá y México. Otros Estados podrían participar en este programa con la instalación de las Estaciones de Referencia necesarias.

El valor de los beneficios del GNSS será diferente para cada Dirección General de Aviación Civil (DGAC). Para Estados que tienen un gran número de aeropuertos en áreas remotas donde no exista gran volumen de tráfico, el GPS ofrece aproximaciones de no-precisión que podrían incrementar la seguridad del vuelo y la confiabilidad del servicio sin apoyo de equipo terrestre. Sin embargo para los aeropuertos más importantes, las aproximaciones de no-precisión son inadecuadas.

Los ensayos y demostraciones están abiertos a todos los participantes interesados. El Plan sirve como un memorándum de entendimiento entre los participantes. El Plan esboza las operaciones y procedimientos aprobados, los requisitos de los explotadores, el apoyo de las autoridades de aviación civil, el método para evaluar los resultados y los participantes.

11.2 Operaciones y procedimientos aprobados

11.2.1 Generalidades

Tal como se indica a continuación, la Circular respalda todas las operaciones actualmente disponibles con el sistema GPS de los Estados Unidos:

"...los sistemas satelitales disponibles en el corto plazo pueden ser utilizados como medios suplementarios' hasta para aproximaciones de no-precisión o aproximaciones de precisión de Categoría I especial, si se cuenta con la aumentación terrestre requerida. Adicionalmente, la mejor disponibilidad de integridad de navegación, aunada a menores requisitos de disponibilidad en ruta (oceánica/remota), podría permitir el empleo de sistemas satelitales como medio primario para esta fase del vuelo." (*Circular 267-AN/159*)

En este ensayo y demostración los participantes evaluarán el GNSS:

- Como medio de navegación suplementario en ruta VFR (Visual Flight Rules) e IFR (Instrumental Flight Rules).
- Como medio de navegación primario en ruta en áreas oceánicas/remotas VFR e

IFR

- Para aproximaciones GNSS de no-precisión autónomas VFR y IFR.

11.2.2 Operaciones y procedimientos aprobados

Previo a la salida

Si los criterios meteorológicos convencionales exigen la declaración de un destino alternativo, éste deberá contar con aproximación convencional por instrumentos para cuya ejecución deberá estar equipada la aeronave. La ayuda para la aproximación en el aeropuerto alternativo deberá estar operativo.

Las aeronaves equipadas con GNSS deberán declararse con el código de equipo "/G" para indicar que están equipadas con GPS.

El control de operaciones de línea aérea AOC (Aeronautical Operational Control) confirmará si hay suficiente disponibilidad Satelital, utilizando un programa de soporte lógico aprobado. En el caso improbable que el programa de soporte lógico determine que la cobertura Satelital no estará disponible durante una porción del vuelo, entonces el vuelo será demorado o encaminado para eliminar el vacío de disponibilidad

La tripulación cumplirá con los procedimientos establecidos por el fabricante para garantizar la vigencia de la base de datos de navegación, el cual debería actualizarse cada 28 días

Salida, en ruta y llegada

Se aprueba el uso del GPS como medio de navegación suplementario VFR e IFR de la siguiente manera:

- La tripulación debe tener siempre a su disposición orientación de navegación convencional (VOR, DME, NDB, INS, IRS).
- Si bien debe haber orientación de navegación convencional disponible, no es necesario utilizarla para hacer una verificación cruzada de la orientación GPS,

siempre y cuando se cuente con RAIM. No obstante, un miembro de la tripulación deberá monitorear continuamente la orientación de navegación convencional a fin de poder contar, sin demora alguna, con informes de posición con respecto a los puntos de referencia convencionales. Esto evitará el potencial de confusión o una mayor carga de trabajo para el controlador debido al uso por el piloto de puntos de referencia GNSS desconocidos por el controlador.

- Se aprueba el uso del GNSS como medio de navegación primario en áreas remotas y oceánicas. Para este ensayo y demostración, se aprueba el uso del GNSS como medio de navegación primario en "...zonas limitadas donde no existan ayudas terrestres para la navegación aérea, o durante una breve interrupción de dichas ayudas." (*Requisito regional.*)

Aproximación de no-precisión GNSS

Los explotadores participantes pueden realizar en condiciones VFR e IFR aproximaciones GNSS de no-precisión autónomas debidamente desarrolladas, las cuales serán aprobadas por la Dirección General de Aviación Civil.

Al realizar una aproximación GNSS de no-precisión autónoma no es necesario hacer una verificación cruzada de la orientación GNSS con una ayuda para la navegación aérea subyacente. Además, no es necesario que esté instalado en el aeropuerto de destino una radioayuda convencional: "Ni la aviónica tradicional de la aeronave ni la(s) ayuda(s) para la navegación aérea subyacente(s) de la estación terrestre tienen que estar instaladas, operativas o ser monitoreadas para volar las aproximaciones de no-precisión en el aeropuerto de destino.

Si se requiere un aeropuerto alternativo, deberán estar instalados y operacionales los equipos convencionales terrestres y de a bordo que definen la aproximación por instrumentos y la ruta al aeropuerto alternativo. No obstante, si existe una aproximación

por instrumentos convencional, un miembro de la tripulación deberá monitorear la orientación de navegación convencional. *(Requisito regional)*

Una tripulación no deberá solicitar ni aceptar un permiso de aproximación por instrumentos GNSS a menos que se extraiga el procedimiento de la base de datos del receptor por nombre. Esto evita el ingreso manual de un punto de recorrido incorrecto.

11.3 Requisitos de explotadores

13.1 Equipo

Homologación

El equipo de a bordo estará debidamente homologado para las operaciones deseadas.

Para usar el GNSS como medio de navegación suplementario, se requiere un sistema GNSS más un sistema de navegación aprobado como medio único.

Para usar el GNSS como medio de navegación primario, se requieren dos sistemas GNSS , excepto en áreas aprobadas para el uso de sistemas únicos de navegación para grandes distancias, incluyendo el Caribe y el Golfo de México.

Instalación

El equipo de a bordo estará debidamente instalado de acuerdo a las especificaciones dictaminadas y aprobadas por la OACI.

Mantenimiento

Los explotadores incluirán en su programa de mantenimiento los requisitos de mantenimiento del fabricante del equipo

11.3.2 Capacitación

Los pilotos, personal de mantenimiento y de control de operaciones de línea aérea (AOC) recibirán la debida capacitación GNSS. Los explotadores FAA

(Federal Aviation Administration), deberán cumplir con los requisitos de entrenamiento de pilotos.

11.3.3 Documentación

Manuales operacionales de la aeronave I Manuales de piloto

En sus manuales, los explotadores establecerán, por escrito, procedimientos GNSS compatibles con los procedimientos recomendados por el fabricante. Se requiere un suplemento de manual de vuelo de la aeronave AFMS (Aircraft Flight Management System)

Manuales de mantenimiento

En sus manuales, los explotadores establecerán, por escrito, procedimientos GNSS compatibles con los procedimientos recomendados por el fabricante.

Se modificará la Lista de Equipo Mínimo (MEL) (Minimum Equipment List) de la aeronave a fin de incluir el equipo GNSS.

- *Manuales de Control de Operaciones de las Líneas Aéreas (AOC)*

En sus manuales, los expertos establecerán, por escrito, procedimientos GNSS compatibles con los procedimientos recomendados por el fabricante.

Especificaciones de las operaciones

Los explotadores que contemplen el uso de GNSS en el sistema del espacio aéreo de Estados Unidos necesitarán una aprobación de las Especificaciones de Operación de su Inspector Principal de Operaciones.

11.3.4 Miscelánea

Los explotadores participantes ayudarán, según el caso, en el desarrollo de aproximaciones de no-precisión GNSS. Esta ayuda podría incluir vuelos de demostración.

Si las operaciones GNSS interfieren con las operaciones normales, los transportistas participantes rectificarán las operaciones según sea necesario.

Cada explotador compartirá datos sobre los ensayos y demostraciones con los otros participantes, a fin de solucionar problemas y maximizar los beneficios para todas las partes.

11.4 Apoyo de las autoridades de Aviación Civil

11.4.1 Requisitos de Equipo

Debido a que el proceso de homologación, instalación y mantenimiento están a cargo de los explotadores, las Autoridades de Aviación Civil no asumirán esta obligación.

11.4.2 Capacitación

Los controladores, inspectores y diseñadores de políticas recibirán una capacitación similar al desarrollado por los explotadores y éstas deberán ser verificados por los organismos de Regulación de Aviación Internacional.

11.4.3 Desarrollo de Rutas GNSS

Las autoridades de Aviación Civil ayudarán en el desarrollo de rutas GNSS. Estas rutas deberán cumplir los siguientes criterios:

- Deberán basarse en criterios RNAV (Area Navigation) el cual consiste en un método de navegación que permite realizar largos periodos de vuelo dentro del rango de las estaciones de referencia para ayuda a la navegación ó dentro de los límites de la capacidad de ayuda de la misma aeronave, ó de una combinación de éstos. Las aeronaves modernas están siendo equipadas con RNAV, como un sistema separado o una función del Sistema de Administración de Vuelo. El RNAV determina la posición de la aeronave desde una o varias ayudas de navegación. Las distancias y la ruta requerida son computadas para proveer un estimado de tiempo de un punto seleccionado en el espacio (way point), junto a una indicación continua de dirección de conducción que puede ser usado.
- No deberán alterar, de manera negativa, el proceso de gestión del tránsito

aéreo.

11.4.4 Desarrollo de Aproximaciones de no precisión GNSS

Las autoridades supervisarán el desarrollo de aproximaciones GNSS de no-precisión autónomas, los cuales son desarrolladas para obtener la mayor seguridad y eficiencia del vuelo, sin considerar la ruta ni los mínimos de cualquiera aproximación convencional que pudiese existir.

Las aproximaciones GPS de no precisión autónomas ofrecen varios beneficios importantes en comparación con las superpuestas. Estas son:

- Incorporan en muchos casos una senda de planeo artificial, permitiendo un descenso continuo y estable como una aproximación ILS ;
- Son más eficientes al eliminar virajes de procedimiento, reduciendo los minutos de vuelo y los consiguientes costos operacionales; y
- Ofrecen mínimos más favorables en general, debido a un franqueamiento de obstáculos menor y la flexibilidad de los criterios de diseño, la cual permite “evitar” ciertos obstáculos que actualmente influyen en el diseño de un procedimiento convencional.

Las aproximaciones por instrumentos GNSS no serán añadidas a la base de datos de navegación de la aeronave hasta ser aprobadas por el Estado y ser enviadas por el éste al proveedor de la base de datos de navegación, por ejemplo Jeppesen. (Requisito de la industria)

11.5. Evaluación de resultados

Se elaborarán informes del explotador para comunicar los resultados y la actividad proyectada. Los explotadores deberán proporcionar información que incluya la actividad de capacitación del piloto, situación/planes de instalación de equipo, la cantidad de rutas/aproximaciones GNSS voladas, la eficiencia obtenida y cualquier sugerencia para mejorar el Plan.

CONCLUSIONES

La implementación del GNSS constituye la iniciativa mancomunada más compleja que se ha llevado a cabo en la historia de la aviación civil. Requerirá niveles de cooperación sin precedentes entre gobiernos, operadores, proveedores de servicios y fabricantes.

El GNSS será la característica clave del sistema de navegación del futuro y evolucionará hasta convertirse en el único medio de navegación que, en última instancia, sustituirá a los actuales sistemas de corto y largo alcance. La cobertura del sistema será de alcance mundial y con la combinación de las funciones de navegación en un sistema único por vía satélite que contará con un conjunto único de aviónica, sin la ayuda de equipo de tierra será de precisión suficiente para satisfacer las necesidades de la navegación en ruta.

Gracias al GNSS, el usuario puede determinar su posición a bordo basándose en un sistema de referencia geodésica, cualquiera que sea su posición geográfica y ofrece la posibilidad de ampliarlo, de ser necesario, para satisfacer un adecuado performance de navegación con más seguridad con mínimas de separación más reducidas lo que automáticamente aumentará la capacidad y las posibilidades de obtener reducción considerables de los costos de explotación gracias a la posibilidad de establecer itinerarios más directos.

Actualmente existen dos sistemas para la navegación basados en satélites que se utilizarán conjuntamente para el GNSS: el Sistema Mundial de determinación de la posición de Estados Unidos (GPS) y el Sistema Orbital Mundial de Navegación

por Satélite de la Federación Rusa (GLONASS). El propósito es alcanzar la formación de una sola red que conecte a todos los usuarios y se adapte a todo tipo de navegación aérea.

Tanto las líneas aéreas como los proveedores de servicios ATS tienen libre acceso a información actualizada sobre la situación de la aeronave en cualquiera de las fases de vuelo, sobre alguna parte del mundo. El perfeccionamiento de la tramitación y transferencia entre operadores, aeronaves y proveedores de servicios de tránsito aéreo aligera la congestión de los canales, reduce los errores y mejora en conjunto los servicios de organización del tránsito aéreo.

La obtención de un mayor nivel de autonomía a bordo, el incremento de posibilidades de aterrizaje en los aeropuertos no dotados actualmente de ayudas para las aproximaciones de precisión y la mejora de las condiciones de seguridad durante todas las fases del vuelo genera un ambiente de confianza y un mayor flujo de pasajeros con la consiguiente ventaja para las líneas aéreas.

El sistema GNSS al ser parte del nuevo Sistema CNS/ATM el cual comprende comunicaciones globales avanzadas, navegación y vigilancia funcionará con el concurso de una gestión eficiente del tránsito aéreo, a través del empleo de tecnología Digital y Satelital conjuntamente con la capacidad instalada en los aviones de última generación.

Una de las aplicaciones con mayor potencial del GNSS es el desarrollo e implementación de aproximaciones de precisión y de no precisión. Esto hace posible diseñarlas en lugares en donde se carece de equipo terrestre o las condiciones topográficas no están dadas. El GNSS debe poder advertir oportunamente (vigilancia de la integridad) al usuario siempre que el error de posición exceda de un límite determinado.

Se busca conseguir mejorar la capacidad de navegación y aterrizaje para poder seguir procedimientos avanzados de aproximación y despegue, minimizar las demoras y circuitos de espera y ajustar los horarios para que la corriente de tránsito sea fluida, así como utilizar de manera eficiente la capacidad del espacio aéreo y de los aeropuertos.

Por último la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) espera que el GNSS sea implementado en su real magnitud dentro del plazo estimado y ser considerado un Sistema Mundial, aceptado por todos los Estados que conforman dicho organismo. La región Sudamericana conformada por los países de Colombia, Brasil, Perú, Chile y Argentina, se encuentran desarrollando los trabajos de implementación de las estaciones de seguimiento para conformar la red de aumentación basada en satélites en esta parte del continente. En nuestro País la estación monitora se encuentra instalado en el Aeropuerto Internacional "Jorge Chavez", desde el mes de Noviembre del 2001 y se encuentra en fase de prueba junto con los demás países Sudamericanos.

ANEXO A

REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN EN LA AVIACIÓN CIVIL

Para que un sistema de navegación sea adoptado para su uso en la aviación civil, tiene que cumplir con unos rigurosos criterios de seguridad. Estos criterios se reflejan en procedimientos de normalización y certificación para cada pieza del equipo instalado en la cabina del avión y/o desplegado en los aeropuertos o cualquier otro lugar de uso para la aviación. Las normas de la aviación civil internacional requieren un acuerdo en las normas y procedimientos entre las agencias de normalización nacional y regional.

Estos parámetros o criterios se refieren a 4 áreas principales:

PRECISIÓN, INTEGRIDAD, DISPONIBILIDAD y CONTINUIDAD.

PRECISIÓN

Los requisitos de precisión se refieren, como su nombre ya intuye, a la precisión de la posición dado por el sistema de navegación. Estos requisitos en la aviación civil dependen de la fase específica del vuelo, y normalmente oscilan desde varios kilómetros durante la fase de vuelo en ruta hasta varios centenares de metros durante la aproximación no precisa a pista. Las aproximaciones precisas (con instrumentos), por su parte requieren especial atención, debido a que son ejecutadas ante la imposibilidad de realizar aproximaciones visuales ante las malas condiciones de visibilidad en el área terminal, en pistas especialmente equipadas

son mención aparte. Estas aproximaciones requieren que el sistema de navegación guíe al avión hasta que descienda a una altitud de 60 más o menos. La navegación basada en satélites ofrece también aproximaciones precisas, y es un área de investigación y desarrollo. La FAA realizó pruebas en los años 1994 y 1995 de aproximaciones precisas de CAT II y CAT III por debajo de un metro de error.

INTEGRIDAD

Se refiere a uno de los aspectos fundamentales para la aviación civil. Es la habilidad de un sistema de navegación y sus usuarios para detectar un mal funcionamiento en el sistema, y además, de manera oportuna. El principal objetivo es que un usuario pueda ser capaz de confiar en la posición estimada dada por el sistema. Dicho sistema puede estar certificado como recurso suplemental o como único recurso. Certificado como suplemental debe dar una posición estimada de la precisión requerida cuando pueda, y reconocer la situación cuando no pueda darla. Sin embargo, certificado como método único el sistema debe avisar al usuario cuando no pueda dar la precisión requerida, para que éste pueda conmutar a un sistema alternativo disponible para la navegación. Un sistema como único recurso, al ser un método sin ayudas auxiliares, debe ser capaz de reponerse ante posibles fallas del sistema.

Los requisitos de integridad son típicamente mostrados como siguen: Si el error en una posición estimada excede de un cierto umbral, el usuario debe ser avisado dentro de un cierto intervalo de tiempo. Tanto el umbral del error como el tiempo de respuesta requerido dependen de la fase específica de vuelo y pueden variar ampliamente. La revelación de un fallo del sistema para un sistema de navegación por satélite es definida como una señal errónea o fuera de tolerancia transmitida por uno de los satélites de la constelación. Las constelaciones están controladas, así que en un instante, la probabilidad de que 2 o más satélites transmitan

simultáneamente señales anómalas mientras están marcados como activos es considerablemente insignificante.

DISPONIBILIDAD

Es el porcentaje de tiempo en un período de un mes durante el cual un lugar de emisión GPS transmite con las correcciones válidas del pseudo-alcance a su nivel de salida especificado

CONTINUIDAD

Es la probabilidad de que el servicio, si se puede usar al principio de una maniobra, permanezca disponible durante el transcurso de la misma. La fiabilidad es la frecuencia con la cual ocurren los fallos y es medida como el número de errores por millón de horas de uso.

La tabla A-1 muestra los requisitos de precisión e integridad para las diversas fases de vuelo. Estos requisitos reflejan las habilidades de los sistemas de navegación en uso hoy en día, y están destinados sólo a que sirvan de ilustración. Hay que destacar que en las fases en ruta y terminal de vuelo, y durante las aproximaciones no precisas, un sistema de navegación es empleado sólo par dar una localización en 2 dimensiones del avión, puesto que la altitud es ofrecida por un altímetro.

FASE DEL VUELO	PRECISION (95%)	INTEGRIDAD	
		LIMITE DE ALARMA	TIEMPO DE ALARMA
En ruta (horizontal)	1000 metros	3700 metros	30 seg.
Terminal (horizontal)	500 metros	1850 metros	10 seg.
Aprox. no precisa (horizontal)	100 metros	550 metros	10 seg.
Aprox. precisa (horizontal)	15 metros	50 metros	6 seg.
Aprox. precisa (vertical)	7 metros	15 metros	6 seg.

TABLA A-1

La indeterminación de la navegación determina las normas de separación del avión dadas por el tráfico en las diferentes fases de vuelo. En vista de una mayor precisión en la navegación que se puede alcanzar con la navegación por satélite, se espera que sean revisados tanto los requisitos de precisión como las normas de separación.

Obviamente, la idea de un sistema de único recurso es económicamente atractiva y el uso del GPS es visto como un potencial sistema de único recurso. De hecho, no se necesitará de ayuda de cualquiera de las actuales ayudas para la navegación de tierra, tales como VOR/DME, Loran y Omega. Este hecho es particularmente importante porque actualmente no hay ayudas de navegación en tierra en grandes áreas de zonas económicamente subdesarrolladas, o en áreas poco pobladas, tales como Alaska, zonas de Rusia o Canadá, selvas tropicales de América del sur, etc.

ANEXO B

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN COSTO /BENEFICIOS

El Comité FANS de la OACI ha calculado que el FANS economizará a las líneas aéreas a razón de unos \$ 5000 millones anuales, siempre que el nuevo concepto CNS/ATM se adopte a escala mundial. El costo del sistema sería del orden de \$ 1000 millones, cantidad que cubrirán los costos no incurridos. Si bien la relación costo/beneficios podría variar, las ventajas de carácter general que reportaría el FANS a las líneas aéreas son evidentes. Ahora bien, las cifras citadas se han calculado a base de la totalidad de la industria, pero cada línea aérea y proveedor de servicios ATC debería llevar a cabo su propio análisis para determinar cual sería la magnitud de la inversión necesaria en relación con el rendimiento previsto. Actualmente la IATA esta colaborando con la OACI y varios Estados para preparar una metodología de análisis costo/beneficios (CBA) que sea aceptada por todas las partes interesadas como instrumento de medición del FANS y otros importantes proyectos en materia de infraestructura del transporte aéreo.

Además de los análisis que pueda llevar a cabo cada línea aérea deben estudiarse y resolverse ciertas cuestiones clave a fin de que las ventajas del FANS sean una realidad. Se ha demostrado que desde el punto de vista técnico el nuevo sistema CNS/ATM es en gran medida factible. Las dificultades que persisten son de carácter político, institucional y económico y de su resolución depende que pueda procederse lo mas rápidamente posible a la implantación del FANS. Los costos de

explotación que supondrá para las líneas aéreas dependerán en gran medida del tipo de acuerdo institucional bajo el que se provean los servicios CNS/ATM.

En el duro entorno comercial de hoy día el control de los costos es el interés vital para la aviación. Dicho control es un factor importante en la manera en que las líneas aéreas puedan ofrecer un servicio en competencia con otros medios de transporte. A diferencia de muchas otras industrias una proporción importante de los costos de explotación de las líneas aéreas esta fuera de su control. En muchos casos el costo actual ATS constituye una proporción significativa de los costos de explotación directos de cada vuelo. Los costos ATS van en aumento a la vez que la demoras y las interrupciones del servicio. En 1992 los transportistas regulares internacionales de la IATA abonaron \$ 3600 millones en concepto de derechos por el uso de instalaciones y servicios de navegación y \$ 4900 millones en concepto de derechos aeroportuarios.

La futura ATM será el principal beneficiario del nuevo sistema CNS, ya que el usuario podrá explotar sus aeronaves de manera más eficiente. No obstante para validar el nuevo concepto CNS/ATM es imprescindible llegar a una transacción entre una explotación más eficiente y los costos del servicio necesario para lograrla.

ANEXO C

RELACIÓN DE DOCUMENTOS Y BOLETINES

TÍTULO	CONTENIDO
FAA Advisory Circular AC 20-130A , <i>Airworthiness Approval Of Navigation Or Flight Management Systems Integrating Multiple Navigation Sensors</i>	Guía para la instalación de aviónica que incorpora más de un tipo de receptor (por ejemplo GPS y VOR).
FAA Advisory Circular AC 20-138 , <i>Airworthiness Approval Of Global Positioning System (GPS) Navigation Equipment For Use As A VFR And IFR Supplemental Navigation System</i>	Guía para la instalación de aviónica que incorpora un receptor GPS.
FAA Advisory Circular AC 90-94 , <i>Guidelines For Using Global Positioning System Equipment For IFR En Route And Terminal Operations And For Nonprecision Instrument Approaches In The U.S. National Airspace System</i>	Guía para usar el GPS en condiciones IFR.
OACI Circular 267-AN/159 , <i>Directrices Para La Introducción Y Uso Operacional Del Sistema Mundial De Navegación Por Satélite (GNSS)</i>	“La finalidad de este documento es proporcionar directrices para introducir el GNSS y, específicamente, para obtener a corto y mediano plazo, beneficios operacionales y económicos de

	los actuales sistemas de navegación por satélite y las aumentaciones...”
FAA TSO-C129a , <i>Airborne Supplemental Navigation Equipment Using the Global Positioning System (GPS)</i>	Identifica los requisitos para certificar aviónica GPS para uso suplementario en ruta y para aproximaciones de no precisión.
FAA Aviso N8110.60 , <i>Sistema De Posicionamiento Global (GPS) Como un Medio Primario De Navegación Para Operaciones Oceánicas / Remotas (Traducido por la DGAC de México). Notice 8110.60, GPS As A Primary Means Of Navigation For Oceanic/Remote Operations.</i>	Identifica los requisitos de equipo y procedimientos para utilizar el GPS como medio de navegación primario en áreas oceánicas y remotas.
FAA Handbook Bulletin Air Transportation HBAT 95-02 , <i>Guidelines for Obtaining Operational Approval for the use of Global Positioning System (GPS) in the Conduct of Air Carrier Operations; Announcement of the Availability of GPS Operations Specifications (OpSpecs)</i>	Boletín que identifica los requerimientos que deberán cumplir los usuarios que operan bajo FAR 121, 129 y 135 para utilizar el GPS como medio de navegación suplementario en ruta y para aproximaciones. Distribuido a los Inspectores de Operadores de la FAA.
FAA Handbook Bulletin Air Transportation HBAT 95-03 , <i>Operations Specifications (OpSpecs) Revision: Global Positioning System (GPS)</i>	Boletín que identifica como se debe reflejar una aprobación para operaciones GPS en los <i>Operations Specifications (OpSpecs)</i> de usuarios que operan bajo FAR 121, 129 y 135.

<p>FAA Handbook Bulletin Air Transportation HBAT 95-09, Guidelines for Operational Approval of Global Positioning System (GPS) to Provide the Primary Means of Class II Navigation in Oceanic and Remote Areas of Operation</p>	<p>Boletín que identifica los requerimientos para utilizar el GPS como medio de navegación primario en áreas oceánicas y remotas incluyendo el área donde aplica el <i>North Atlantic Minimum Navigation Performance Specification (MNPS)</i>.</p>
<p>FAA Advisory Circular AC 97-2, Data Base Standardization For The Global Positioning System (GPS) Overlay Program</p>	<p>Criterios para la codificación de aproximaciones GPS de no precisión superpuestas</p>
<p>FAA Order 8260.38^a, Civil Utilization Of Global Positioning System (GPS)</p>	<p>Criterios para el desarrollo de aproximaciones GPS de no precisión autónomas para aviones</p>
<p>FAA Order 8260.42, Helicopter Nonprecision Approach Criteria Utilizing The Global Positioning System (GPS)</p>	<p>Criterios para el desarrollo de aproximaciones GPS de no precisión autónomas para helicópteros</p>
<p>FAA Order 8260.44, Civil Utilization Of Area Navigation (RNAV) Departure Procedures</p>	<p>Criterios para el desarrollo de salidas codificadas RNAV</p>
<p>FAA Order 8260.45, Terminal Arrival Area (TAA) Design Criteria</p>	<p>Criterios adicionales para el diseño aproximaciones GPS</p>
<p>FAA Order 8200.1A, Flight Inspection of Instrument Flight Procedures</p>	<p>Criterios para la certificación de aproximaciones GPS de no precisión</p>
<p>FAA Order 8400.11, IFR Approval For Differential Global Positioning System (DGPS) Special Category I Instrument</p>	<p>Normas para la implantación de procedimientos de Categoría I Especial (SCAT-I)</p>

<i>Approaches Using Private Ground Facilities</i>	
FAA Order 8260.43 , <i>Prioritization for development of WAAS global positioning system instrument app. proc.</i>	Prioridad para el desarrollo de un sistema de aprox. instrumental usando el WAAS
Circulares Aeronáuticas Informativas (AIC) sobre el GNSS publicadas por Colombia, México, Brazil, Uruguay, Chile, Canadá	Presentados como referencia

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACARS

Addressing, Communications and Reporting System

Sistema Aeronáutico de Comunicaciones, Referenciación y Notificación

ACAS

Airborne Collision Avoidance System

Sistema Anticolisión de a bordo

ACC

Area Control Center

Centro de Control de Area.

ADF

Automatic Direction Finder

Radiogoniómetro Automático

ADS

Automatic Dependent Surveillance

Vigilancia Dependiente Automática

ADS-B

Automatic Dependent Surveillance – Broadcast

Vigilancia Dependiente Automática Transmitida

AFTN

Aeronautical Fixed Telecommunications Network

Red Fija de Telecomunicaciones Aeronáuticas

AG

General Aviation

Aviación General

AIP <i>Aeronautical Information Plan</i>	Plan de Información Aeronáutico
AOC <i>Airline Operational Control</i>	Control de Operaciones de Línea Aérea
ARINC <i>Aeronautical Radio, Inc.</i>	Radio Aeronáutica, Inc.
ASM <i>Air Space Management</i>	Administración del Espacio Aéreo
ATC <i>Air Traffic Control</i>	Control de Tránsito Aéreo
ATFM <i>Air Traffic Flow Management</i>	Gestión de Afluencia del Tránsito Aéreo
ATM <i>Air Traffic Management</i>	Gestión de Tránsito Aéreo
ATN <i>Aeronautical Telecommunication Network</i>	Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas
ATS <i>Air Traffic Service</i>	Servicio de Tránsito Aéreo
CAA <i>Civil Aviation Authority</i>	Autoridad de Aviación Civil
CAT I, II, III	Aproximaciones de Precisión de Categoría I, II, III
CEP <i>Circular Error of Position</i>	Error Circular de Posición

CMU <i>Communication Management Unit</i>	Unidad de Gestión de Comunicaciones
CNS <i>Communication, Navigation, Surveillance</i>	Comunicaciones, Navegación y Vigilancia
DGNSS <i>Differential Global Navigation Satellite System</i>	Sistema Global Diferencial de Navegación Satelital
DGPS <i>Differential Global Positioning System</i>	Sistema Global Diferencial de Posición
DME <i>Distance Measuring Equipment</i>	Equipo Radiotelemétrico
DoD <i>Department of Defense (USA)</i>	Departamento de Defensa (EE UU)
DR <i>Dead Reconning</i>	Navegación a Estima
FAA <i>Federal Aviation Administration</i>	Administración de Aviación Federal
FANS <i>Future Air Navigation System</i>	Sistema Futuro de Navegación Aérea
FDE <i>Fault Detection and Exclusion</i>	Detección y Exclusión de Falla
FMS <i>Flight Management System</i>	Sistema de Gestión de Vuelo

FTE <i>Flight Technical Error</i>	Error Técnico de Vuelo
GIC <i>GPS Integrity Channel</i>	Canal de Integridad de GPS
GLONASS <i>Global Orbiting Navigation Satellite System (Russian Federation)</i>	Sistema Global de Navegación Satelital (Federación Rusa)
GPS <i>Global Positioning System</i>	Sistema Global de Posición
GNSS <i>Global Navigation Satellite System</i>	Sistema Global de Navegación Satelital
GNSSP <i>Global Navigation Satellite System Panel (ICAO)</i>	Panel del Sistema Global de Navegación Satelital (OACI)
HDOP <i>Horizontal Dilution Of Precision</i>	Dilución Horizontal de Precisión
HF <i>High Frequency</i>	Alta Frecuencia
IFR <i>Instrument Flight Rules</i>	Reglas de Vuelo Instrumental
ILS <i>Instrument Landing System</i>	Sistema de Aterrizaje Instrumental
INMARSAT	Organización Internacional de Telecomunicaciones Marítimas por Satélite

INS <i>Inertial Navigation System</i>	Sistema de Navegación Inercial
IRS <i>Inertial Reference System</i>	Sistema de Referencia Inercial
LAAS <i>Local Area Augmentation System</i>	Sistema Local de Aumentación de Area
LADGPS <i>Local Area Differential Global Positioning System</i>	GPS Diferencial de Area Local
LSALT <i>Lowest Safe Altitude</i>	Altitud Mínima de Seguridad
MLS <i>Microwave Landing System</i>	Sistema de Aterrizaje por Microondas
MNPS <i>Minimum Navigation Performance Specifications</i>	Especificación de Performance Mínima de Navegación
MSA <i>Minimum Safe Altitude</i>	Altitud Mínima del Seguridad
NDB <i>Non-Directional Beacon</i>	Radiofaro no Direccional
OMEGA VFL <i>Very Low Frequency</i>	Frecuencias Bajísimas
PDOP <i>Position Dilution of Precision</i>	Dilución de Precisión de Posición

RAIM <i>Receiver Autonomous Integrity Monitoring</i>	Monitor Autónomo de Integridad del Receptor
RNAV <i>Area Navigation</i>	Navegación de Área
RNP <i>Required Navigation Performance</i>	Performance Requerida de Navegación
RVSM <i>Reduced Vertical Separation Minima</i>	Separación Mínima Vertical Reducida
SA <i>Selective Availability</i>	Disponibilidad Selectiva
SIS <i>Signal In Space</i>	Señal en el Espacio
SPS <i>Standard Positioning Service (U.S A.)</i>	Servicio de Posicionamiento Estándar (EE UU)
TSO <i>Technical Standard Order (FAA)</i>	Orden Técnica Estandar (FAA)
VFR <i>Visual Flight Rules</i>	Reglas de Vuelo Visual
VHF <i>Very High Frequency</i>	Frecuencias Altísimas
VOR <i>Very high frequency Omni-directional Range</i>	Radiofaro Omnidireccional VHF

WAAS*Wide Area Augmentation System*Sistema de Aumento del Área
Ampliado**WADGPS***Wide Area Differential Global Positioning
System*

GPS Diferencial de Área Ampliada

WGS-84*World Geodetic System – 1984*Sistema Geodésico Mundial –
1984

BIBLIOGRAFÍA

1. Organización de Aviación Civil/Asociación del Transporte Aéreo Internacional
"Manual FANS", 1995
2. Hewlett Packard
"GPS and Precision Timing Applications", May 1996
3. Documento elaborado por los representantes del Perú ante el Subgrupo
CNS/ATM del Grepecas
"Conceptos en GPS", 1998.
4. Asociación del Transporte Aéreo Internacional
"Taller sobre el Sistema Global de Navegación Satelital GNSS", 2000.
5. Organización de Aviación Civil/Asociación del Transporte Aéreo Internacional
"Guía de implantación", 1995
6. Asociación del Transporte Aéreo Internacional
"Cost Benefit Analysis Methodology", 1993
7. University of Calgary, Department of Geomatics Engineering
<http://www.ensu.ucalgary.ca/>>

8. Civil GPS Service Interface Committee

<http://www.navcen.uscg.mil/Default.htm>>

9. Federal Aviation Administration

<http://www.gps.faa.gov/>>

10. Global Positioning System Overview

<http://utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html>>

11. Aeronautical Radio Inc (ARINC)

"Arquitectura CNS/ATM", 2000