

1

01125
9



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

"EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) COMO
MEDIO DE NAVEGACION DENTRO DEL ESPACIO AEREO
MEXICANO"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO TOPOGRAFO Y GEODESTA
P R E S E N T A :
JUAN CARLOS / HERNANDEZ CORREA

DIRECTOR DE TESIS: ING. ADOLFO REYES PIZANO



CIUDAD UNIVERSITARIA

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

2



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/ 077/02

Señor
JUAN CARLOS HERNÁNDEZ CORREA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ADOLFO REYES PIZANO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA.

"EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) COMO MEDIO DE NAVEGACIÓN DENTRO DEL ESPACIO AEREO MEXICANO"

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ANTECEDENTES
- III. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)
- III. NORMAS DE APLICACIÓN DEL GPS PARA LA NAVEGACIÓN DENTRO DEL ESPACIO AEREO MEXICANO
- IV. PROGRAMA DE MONITOREO DE ALTURAS DE VUELO PARA ELIMINAR PROBABILIDAD DE ACCIDENTES.
- V. ENLACE DE DATOS PARA OPTIMIZAR LAS COMUNICACIONES AERONÁUTICAS
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitario a 27 de mayo de 2002.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg

Autoría a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM y función en formato electrónico e imprimir el contenido de mi trabajo recibido.

NOMBRE: JUAN CARLOS HERNÁNDEZ CORREA

FECHA: 11 JUNIO 2003

FIRMA: [Firma]

DEDICO EL PRESENTE TRABAJO:

A mis padres, a mis hermanos y en general a todas las personas que de alguna u otra forma influyeron en mi formación profesional.

A mi escuela, compañeros y profesores.

A mi director de tesis. Ing. Adolfo Reyes Pizano, por su gran apoyo y confianza que tuvo hacia mí.

A los Ingenieros: Guillermo Magaña Hernández, Subdirector de Sistemas de Navegación Aérea; Guillermo Cerda, de la empresa AVEMEX, y a Román Ramírez Montalvo, jefe del área del departamento de talleres aeronáuticos. A todos ellos, por su valiosa ayuda.

“EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS) COMO MEDIO DE NAVEGACIÓN DENTRO DEL ESPACIO AEREO MEXICANO”

ÍNDICE

GLOSARIO DE SIGLAS	1
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I. NOCIONES HISTÓRICAS	7
1. Antecedentes	7
1.1. Guía CNS/ATM Para el futuro.	9
1.2. Mecanismos de la OACI.	11
CAPÍTULO II. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)	14
2.1. Segmento espacial.	14
2.2. Segmento de control.	17
2.3. Segmento de usuario.	19
CAPÍTULO III. NORMAS DE APLICACIÓN DEL GPS PARA LA NAVEGACIÓN DENTRO DEL ESPACIO AÉREO MEXICANO.	20
3.1. Objetivo y campo de aplicación.	20
3.2. Disposiciones generales.	20
3.2.1 Procedimientos de aplicación del sistema mundial de la determinación de la posición (GPS) como medio de navegación dentro del espacio aéreo mexicano.	21
3.2.2. Fases de operación en México.	21
3.2.3. Procedimientos de operación.	22
3.2.3.1 Operación de equipo GPS	22
3.2.3.2 Establecimiento, publicación de rutas y procedimiento GPS	22
3.2.3.2.1 Difusión de cambios significativos	22
3.3. Procedimientos IFR en las etapas de vuelo	23
3.3.1. Aproximaciones	23

3.3.2.	Los procedimientos de aproximación GPS	24
3.3.2.1	Procedimientos del piloto	24
3.3.2.2	Procedimiento que deberá seguir el piloto en caso de falla del sistema GPS.	25
3.4.	Operaciones VFR (reglas de vuelo visual) con GPS	25
3.5.	Grado de concordancia con normas, lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración.	25

CAPÍTULO IV. PROGRAMA DE MONITOREO DE ALTURAS DE VUELO PARA ELIMINAR PROBABILIDAD DE ACCIDENTES. 27

4.1.	Enfoque gradual.	29
4.2.	Función de la agencia.	29
4.3.	Base de datos de aprobaciones RVSM.	30
4.4.	Requisitos de vigilancia.	31
4.5.	Selección del sistema de monitores.	32
4.6.	Financiamiento y costos compartidos.	33
4.7.	Recolección de datos.	33
4.8.	Principio de funcionamiento.	36
4.9.	Experiencia hasta la fecha.	37
4.10.	Vigilancia futura.	38

CAPÍTULO V. ENLACE DE DATOS PARA OPTIMIZAR LAS COMUNICACIONES AERONÁUTICAS. 39

5.1.	Arquitectura y funciones.	41
5.2.	Infraestructura de comunicaciones.	46
5.3.	Planificación de la implantación.	50

CAPITULO VI. CONCLUSIONES. 53

GLOSARIO DE TÉRMINOS 56

BIBLIOGRAFÍA 57

GLOSARIO DE SIGLAS

AIC	Circular de Información Aeronáutica. Aeronautical Information Circular.
AAD	Desviación de Altitud Asignada. Altitude Assigned of Desviation.
ACARS	Sistema de Notificación y Direccionamiento de Comunicaciones en la Aeronave. Aircraft Communication Addressing and Reporting System.
ADS	Vigilancia Dependiente Automática. Automatic Dependent Surveillance.
ARINC	Incorporación Radioaeronáutica. Aeronautical Radio Inc.
AOC	Control de las Operaciones Aeronáuticas. Aeronautical Operational Control.
ASE	Error del Sistema de Altimetría. Altimetric System Error.
ATC	Control de Tránsito Aéreo. Air Traffic Control.
ATIS	Servicio Automático de Información del Área Terminal. Automatic Terminal Information Service.
ATN	Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas. Aeronautical Telecommunication Network.
ATS	Servicios de Tránsito Aéreo. Air Traffic Services.
CAP	Parámetro de Acceso al Controlador. Controller Access Parameter.
CENA	Centro Experimental de Navegación Aérea.
CIC	Comunicaciones de Autorizaciones e Información.
CMA	Agencia Central de Vigilancia (del Atlántico Septentrional). Central Monitoring Agency.
CNS / ATM	Comunicación, Navegación y Vigilancia/Gestión del Tránsito Aéreo. Communications, Navigation and Surveillance Air Traffic Management.

CPDLC	Comunicaciones por enlace de datos controlador / piloto. Controller / Pilot Data Link Communications.
DCL	Autorización de Salida. Authorization of Exit.
D-ATIS	Servicio Automático de Información Terminal por enlace de datos. Data Link Automatic Terminal Information Service.
D-FIS	Servicio de Información de Vuelo por Enlace de Datos. Data Flight Information Service.
DGAC	Dirección General de Aeronáutica Civil
DOTIS	Servicio de Información Terminal Operacional por Enlace de Datos. Data Operational Terminal Information Service
DYNAV	Disponibilidad de Rutas Dinámicas. Dynamical Availability of Routes.
FAA	Administración Federal de Aviación – E.U.A. Federal Aviation Administration.
FANS	Comité Especial sobre Sistemas de Navegación Aérea del Futuro. Future Air Navigation Systems.
FDP	Procesamiento de Datos de Vuelo. Processing Data of Flight.
FLIPCY	Coherencia del Plan de Vuelo. Flight Plan Coherence.
GNSS	Sistema Mundial de Navegación por Satélite. Global Navigation Satellite System.
GEPNA.	Grupo Europeo de Planificación de la Navegación Aérea. Group European Planning of Navigation Air.
GLONASS	Sistema Mundial de Navegación por Satélite de la Federación Rusa. Global Navigation Satellite System (Russian Federation).
GMS	Estación Terrestre de Monitoreo. Ground Monitoring Station.
GMU	Altura de Monitoreo Terrestre. Ground Monitoring Unit.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global. Global Positioning System.

HMU	Monitores de Altura. Height Monitoring Unit.
IATA	Asociación del Transporte Aéreo Internacional. International Air Transport Association.
IFR	Reglas de Vuelo por Instrumento. Instrument Flight Rules.
MASPSA	Especificaciones Mínimas de <i>Performance</i> del Sistema de Aeronave. Minimum Aircraft System Performance Specifications Aircraft.
MEL	Lista de Equipo Mínimo. Minimal Equipment List.
METAR	Informes Meteorológicos Aeronáuticos Rutinarios. Meteorological Aeronautical Routine reports.
MNPS	Especificación de Performance Mínima de Navegación. Minimum Navigation Performance Specification.
MCS	Estación de Control Base. Master Control Station.
NAT	Atlántico Septentrional. North Atlantic.
NATS	Servicios Nacionales de Tráfico Aéreo. National Air Traffic Services.
NAVSTAR	Sistema de Navegación por Satélite. Navigation System and Ranging.
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional. Organization Aviation Civil International.
ODIAC	Desarrollo de Aplicaciones y Servicios de Enlace de Datos (es un subgrupo de eurocontrol).
PIA	Publicaciones en Aeronáutica. Publishing in Aeronautics.
QOS	Calidad de Servicio. Quality-of-Service.
RDP	Procesamiento de Datos por Radar. Radar Data Processing.
RGCSP	Grupo de Expertos sobre el Examen del Concepto General de Separación. Review of the General Concept of Separation Panel.
RNAV	Navegación de Área. Area Navigation.

RNP	<i>Performance</i> Requerida de Navegación. Required Navigation Performance.
RSSIG	Grupo de Aplicación de Normas de Separación Reducida. Reduced Separation Implementation Group
RVSM	Separación Vertical Mínima Reducida. Reduced Vertical Separation Minimal.
SARPS	Normas y Métodos Recomendados. Standards and Recommended Practices.
STNA	Servicio Técnico de Navegación Aérea. Service Technical Navigation Air.
SSR	Radar Secundario de Vigilancia. Secondary Surveillance Radar.
TAF	Pronósticos de Aeródromo. Terminal Aerodrome Forecast.
TLS	Nivel Óptimo de Seguridad. Target Level of Safety.
TOA	Hora de Llegada. Time of Arrive.
TVE	Error Vertical Total. Total Vertical Error.
VFR	Reglas de Vuelo Visual. Visual Flight Rules.
VOR	Radiofaro Omnidireccional VHF. VHF Omnidirectional Radio Range.
VSM	Mínima de Separación Vertical. Vertical Separation Minimun.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) creó en 1983 un comité especial para la supervisión y coordinación para el desarrollo del sistema de navegación aérea del futuro, cuya misión consiste en estudiar, identificar y evaluar los nuevos conceptos, así como las técnicas en materia de navegación aérea que se emplearán en los próximos 25 años.

Por su parte, los Estados Unidos de América propusieron el sistema de navegación GPS (Sistema de Posicionamiento Global) como la base para determinar la posición de las aeronaves. Asimismo, la entonces Unión Soviética, ofreció también su sistema de navegación llamado GLONASS (Sistema Mundial de Navegación por Satélite).

Es de destacarse que uno de los principales objetivos de la Norma Oficial Mexicana consiste en establecer los procedimientos de operación del sistema mundial de determinación para la posición (GPS) como medio de navegación dentro del espacio aéreo mexicano, y establece los lineamientos para la selección, instalación, certificación y operación de los equipos a bordo de las aeronaves con marcas de nacionalidad y matrículas mexicanas. Por lo tanto, dicha norma resulta aplicable para todos los concesionarios, permisionarios u operadores aéreos que operen o pretendan operar de acuerdo a la Ley de Aviación Civil con equipos GPS como medio de navegación.

Un programa de monitores realiza actualmente el seguimiento de un 85% para operaciones RVSM (Separación Vertical Mínima Reducida). La precisión que manifiesta el sistema de mantenimiento respecto a la altura se ubica bien dentro del nivel de seguridad deseado.

Con lo anterior, encontramos que el objetivo principal de este trabajo de investigación, es que se introduzca la tecnología necesaria en la aeronáutica, sin aumentar la carga de trabajo del controlador de tránsito aéreo e integrar servicios de enlace en donde se toman en cuenta sus datos con otros mecanismos ATC (Control de Tránsito Aéreo), incluyendo sistemas automáticos de tierra.

CAPITULO I

NOCIONES HISTÓRICAS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1. ANTECEDENTES.

Tal y como lo mencionamos en la parte introductoria de este trabajo, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) creó en 1983 un Comité especial para la supervisión y coordinación del desarrollo del sistema de navegación aérea del futuro (FANS) con la misión de estudiar, identificar y evaluar los nuevos conceptos y técnicas en materia de navegación aérea en los próximos años.

En 1988 este Comité rindió su informe general, sobre un sistema de comunicaciones, navegación y vigilancia basado en gran parte en satélites, que permitiría la evolución de los sistemas de organización de tránsito aéreo y traería consigo importantes beneficios para la aviación civil internacional. A este sistema se le llamó posteriormente "Sistemas de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia / Gestión del Tránsito Aéreo (CNS/ATM)".

Cabe destacar que el Consejo de la OACI estableció un segundo comité FANS, el cual, concluyó sus labores en 1993. El plan mundial coordinado que se elaboró en esta segunda etapa incluía información sobre la infraestructura mundial, y calendarios de la implantación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la Décima Conferencia de Navegación Aérea de la OACI en Montreal, Canadá realizada en el año de 1991, se aprobó el concepto CNS/ATM propuesto por el FANS, relativas al uso de satélites artificiales para solucionar los problemas sobre comunicaciones, navegación y vigilancia que el crecimiento y expansión de la aviación civil ha planteado en los últimos años.

Asimismo, el Comité FANS elaboró el concepto de *Performance* de Navegación Requerida (RNP), en el que se especificaría el funcionamiento del sistema. Esto evitaría la necesidad de que la OACI seleccionara un sistema de navegación, y permitiera a los operadores de aeronaves elegir el equipo mas adecuado para sus necesidades que se ajustarían a los requisitos de la *performance* de navegación. El Comité FANS confiaba en que el Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS) se desarrollaría hasta resultar apropiado como medio único de navegación, ajustándose a la RNP en la mayoría de las etapas de vuelo y reemplazando finalmente la gran variedad actual de ayudas a la navegación.

El concepto de Sistemas de Navegación Aérea del Futuro (FANS), que la OACI había elaborado y que paulatinamente se ha venido transformando hasta recibir el novedoso nombre de Sistema de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia y Gestión del Tránsito Aéreo, constituye esencialmente la aplicación de las actuales tecnologías avanzadas en materia de satélites y computadoras. El uso de estas tecnologías traerá consigo mayor eficacia y seguridad. Ante ello,

encontramos que el gran paso hacia delante lo pondrá como un sistema mundial integrado que llegará a modificar nuestra manera de organizar y explotar los servicios de tránsito aéreo.

Asimismo, podemos mencionar que la tecnología de navegación mundial se encuentra en el advenimiento del satélite y la computadora. Pero su desarrollo se inicia realmente a principios de los años ochenta cuando el Consejo de la OACI creó el ya mencionado Comité de Sistemas de Navegación Aérea del Futuro. El Comité produjo su concepto, el cual no sólo permitiría alcanzar sus objetivos sino también adaptarse a cualquier nueva tecnología mas allá del periodo considerado para 25 años para que diera sus verdaderos frutos. Mientras el Comité se ocupaba de esta tarea, otro sector de la OACI producía las normas, métodos recomendados y orientación de la OACI necesarios para apoyar y aplicar nuevas tecnologías.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1. Guía CNS/ATM para el Futuro

El Consejo de la OACI estableció un segundo Comité FANS, aun antes de que el concepto de sistemas CNS/ATM fuese formalmente adoptado por la Asamblea de la OACI en 1992. El Comité FANS se reunió por última vez durante los meses de septiembre-octubre de 1993, para prestar su asistencia a un plan

mundial coordinado de implantación. Los resultados de dichas asambleas fueron la Guía CNS/ATM para el Futuro. Asimismo, el Comité presentó un documento completo destinado a los administradores de alto nivel en el que se presentaba una panorámica general de los sistemas CNS/ATM.

La completa implantación de los sistemas CNS/ATM sería un proceso progresivo que exigiría asesoramiento y ayuda para los responsables en última instancia de su implantación, de manera que el nuevo sistema se realizará de forma oportuna y ordenada.

No hay que olvidar que la organización del tránsito aéreo constituye actualmente uno de los sectores de la aviación civil más importantes que se presentan. Por tal motivo, requiere una solución coordinada a escala mundial que se aplique en beneficio de toda la comunidad aeronáutica civil.

Para definir el concepto de sistemas CNS/ATM, a finales de la década de los ochenta, el Comité FANS original llevó a cabo un análisis global de costos/beneficios, los cuales arrojaron como resultados una sólida justificación para la implantación de los sistemas CNS/ATM a nivel mundial.

En lo que respecta al caso de México, la implantación a un nivel nacional, implicará que las autoridades y proveedores de servicios de tránsito aéreo tendrán que llevar a cabo sus propias evaluaciones económicas de costos/beneficios.

TESIS COM
FALLA DE ORIGEN

Para los países en desarrollo, el CNS/ATM puede significar la oportunidad de evolucionar tecnológicamente y pasar directamente a los sistemas basados en la utilización de satélites para la organización de su espacio aéreo. Los análisis de costos/beneficios llevados a cabo por diversos países dan lugar a niveles de compromiso y calendarios de implantación diferentes, una situación que se había previsto desde el inicio.

1.2. Mecanismos de la OACI.

Considerando la necesidad de una implantación mundial, los Estados miembros de la OACI han reconocido que el liderazgo de este organismo es esencial en el presente y en el futuro, especialmente en materia de planificación, coordinación y supervisión de la implantación. Cabe destacar que han reconocido también, la necesidad de asistencia para el proceso de implantación.

La Décima Conferencia de Navegación Aérea de la OACI de septiembre de 1991, que había aprobado la adopción mundial del concepto de sistemas CNS/ATM, creó un mecanismo de la OACI para proporcionar dicha coordinación y asistencia.

Es necesario advertir que la OACI con sus amplias responsabilidades en la esfera de la aviación civil, no cuenta con los recursos presupuestarios necesarios para llevar a cabo la labor de dicho mecanismo de manera exhaustiva, dado que sus presupuestos están sometidos a criterios de crecimiento nulo. Sin embargo, la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Indole del mandato de la OACI y su carácter de organismo intergubernamental de las Naciones Unidas imponen necesariamente la búsqueda de otros métodos.

También es de tener en cuenta que a la mayoría de las líneas aéreas regulares del mundo, la Asociación del Transporte Aéreo Internacional (IATA) les ha sugerido una fuente posible de financiamiento para administrar y contribuir a la implantación del sistema, que se daría con el cobro de derechos a los usuarios. Asimismo, consideramos necesario que se deberían utilizar algunos elementos de los mencionados derechos para asegurar una implantación oportuna y coordinada de los sistemas CNS/ATM de modo que todos puedan beneficiarse.

Además, la implantación del CNS/ATM por parte de los usuarios y proveedores no constituirá un cambio instantáneo, sino con un carácter introductorio y oportuno de los sistemas y tecnologías.

La OACI reconoció la necesidad de que la comunidad aeronáutica elaborara al mismo tiempo, unos criterios a largo plazo para regir el futuro suministro de servicios, particularmente el de los de satélites en los que se basa el CNS/ATM en gran medida.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y el Sistema Orbital Mundial de Navegación por Satélite (GLONASS) están entrando en servicio; los Estados Unidos y la Federación Rusa han ofrecido acceso al servicio proporcionado por dichos sistemas sin imponer derechos a los usuarios, pero con determinadas

disposiciones relativas al periodo de disponibilidad y el tipo de acceso, lo cual permitiría a la comunidad aeronáutica familiarizarse con dichos sistemas.

Mientras tanto, la OACI prosigue con sus planes para la creación de un organismo de ejecución como parte del mecanismo, para ello, el Consejo creará un pequeño equipo especial de alto nivel integrado por expertos altamente calificados, procedentes principalmente de las administraciones nacionales, aunque también el organismo mencionado abre sus puertas a la ayuda de especialistas de otros países. Resulta necesario que tales expertos tuvieran la sensibilidad de apoyar sus conocimientos con el de las autoridades en lo que atañe a la oportuna implantación de los sistemas CNS/ATM, que determinarán las prioridades esenciales en materia de implantación del sistema y que proporcionará asesoramiento respecto al tipo, la función y la composición del mecanismo final de la OACI que se necesita para llevar a término el proyecto CNS/ATM.

La industria de las líneas aéreas constituye un factor primordial en este proceso, no sólo para lograr su propio nivel de implantación sino como interlocutores eficaces a nivel nacional y mundial. Cabe señalar, que existe un interés común de realizar el cambio y llevar a cabo con éxito la integración de los sistemas mundiales CNS/ATM, ya que su importancia radica en que se trata de una nueva tecnología que podemos y debemos alcanzar.

CAPITULO II

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Una vez adoptado el concepto CNS/ATM, los Estados Unidos propusieron el sistema de navegación GPS como una base importante para determinar la posición de las aeronaves. Asimismo, la Federación rusa, ofreció también su sistema de navegación llamado GLONASS para los mismos fines.

El sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema de navegación que esta basado en una constelación de 24 satélites orbitando alrededor de la tierra a gran altitud, y que puede dar posición en tres dimensiones con mediciones exactas de aproximadamente 15.24 metros.

En otro orden de ideas, encontramos que cualquier sistema satelital como NAVSTAR está constituido por tres segmentos, que a continuación pasamos a detallar:

- Segmento espacial
- Segmento de control
- Segmento de usuario

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1. El **segmento espacial** NAVSTAR GPS está constituido por una constelación de 24 satélites localizados a 20,200 kilómetros de la superficie de la tierra. La tabla

1, describe la constelación NAVSTAR GPS y la constelación de satélites GLONASS (Sistema Mundial de Navegación por Satélite de la Federación Rusa).

Estos dos sistemas tanto el ruso como el estadounidense son similares en operación y en características de los satélites. Los satélites son una parte esencial de la navegación espacial, ya que estos son los que emiten constantemente las señales hacia los receptores GPS, cubriendo todo el globo terrestre.

TABLA I

Tabla I. Características de las constelaciones NAVSTAR y GLONASS		
Característica	NAVSTAR GPS	GLONASS
Compañía Impulsora	Departamento de Defensa de EUA (NAVSTAR Systems Ltd)	Gobierno Ruso
Número de satélites	24 en 6 planos orbitales	24 en 6 planos orbitales
Tipo de órbita	Media (20,200 Kilómetros); inclinación 63 grados; período de 12 horas.	Media (19,200 Kilómetros) en 6 planos orbitales; inclinación 64.8 grados; período de 11 horas 15 minutos.
Vida útil aprox.	7.5 años	7.5 años

Al principio se pensó que sólo eran necesarios 18 satélites (más 3 de emergencia por si acaso alguno fallaba). Sin embargo, más tarde se comprobó que con este número la cobertura en algunos puntos de la superficie terrestre no era la idónea.

Así pues, se empezaron a utilizar 21 satélites (más 3 de reserva como se tenía previsto en el caso de que se hubieran utilizado 18 satélites únicamente), los

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

cuales quedaron repartidos en 6 órbitas, de forma que en la actualidad hay 4 satélites por órbita.

El sistema está diseñado de tal forma que sobre cualquier punto de la superficie terrestre se ven al menos 4 satélites.

A continuación presentamos las principales características de estos satélites:

- Están situadas a una altura de 20,180 kilómetros.
- Tienen una inclinación respecto al plano del Ecuador de 55 grados.
- La separación entre las órbitas es de 60 grados.
- El periodo de los satélites es de 11 horas 58 minutos.

Hay 6 efemérides que caracterizan a las órbitas.

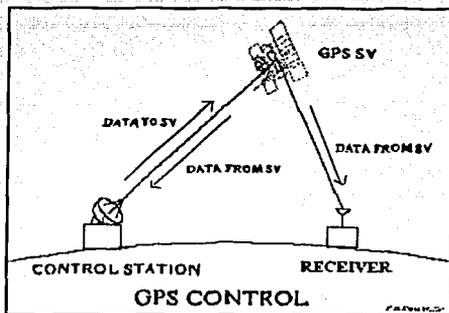
De acuerdo con lo anteriormente señalado, a continuación se muestra la imagen de uno de los Satélites del Sistema NAVSTAR GPS.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2. El segmento de control consiste de cinco estaciones de monitoreo localizadas en Hawaii, Kwajalein, Isla Ascensión, Diego García y Colorado Springs (territorios que se encuentran bajo el dominio de Estados Unidos), tres estaciones terrenas en Isla Ascensión, Diego García y Kwajalein, y una Estación Maestra de control (MCS) localizada en la base aérea de Falcon, Colorado, la cual mantiene los satélites en posición orbital y su respectiva regulación de tiempo para cada uno de ellos. Las estaciones de monitoreo rastrean todos los satélites que se encuentran a la vista, acumulando la información monitoreada. Esta información es procesada en la MCS para determinar las órbitas de los satélites y para actualizar cada mensaje de navegación de cada satélite desde las estaciones terrenas.

Es importante mencionar que existe una estación maestra de control (situada en Colorado Spring, Estados Unidos), la cual se encarga de calcular las efemérides para cada uno de los satélites, y que a continuación se muestra:



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Abundando más sobre la temática en cuestión, tenemos que existen tres estaciones de carga, que tienen las siguientes características:

- Están situadas en Diego García, Isla Ascensión y Kwajalein.
- Transmiten datos (mensaje de navegación) y reciben las señales que los satélites envían a las estaciones.

Además hay cinco estaciones monitoras que tienen los siguientes aspectos:

- Se encuentran en Hawaii y Colorado Spring.
- Controlan el estado y posición de los satélites.
- Reciben las señales transmitidas por los satélites y a partir de ellas obtienen información para poder calcular las efemérides de los satélites. Esta información es transmitida a la estación maestra de control que es la encargada de calcular las efemérides y obtener así la posición de los satélites con una precisión muy buena.

A continuación, expondremos la colocación geográfica de cada una las estaciones del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) referidas:



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3. El segmento de usuario consiste de receptores GPS que proporcionan casi instantáneamente la posición, altitud, velocidad y tiempo preciso al usuario desde cualquier parte del mundo las 24 horas del día. Estos receptores calculan la posición por medio de señales simultáneas desde tres o más satélites que estén a la vista del receptor GPS.

Pequeñas variaciones pueden ocurrir en la información de latitud, velocidad y posición del satélite; estos cambios son monitoreados por el Departamento de Defensa y las correcciones son enviadas al satélite.

El Departamento de la Defensa puede colocar reducción de la precisión con grado de exactitud mucho mas alto en casos de uso único y exclusivamente militar. Con base en lo anteriormente explicado y con una sofisticación en el sistema GPS llegamos al Sistema GPS diferencial el cual maneja mediciones de exactitud por debajo de 2.54 centímetros de error. Esta forma de GPS de precisión esta siendo probada y llevándose a cabo la certificación para sistemas de aproximación y aterrizaje de precisión sin necesidad de las estaciones costosas que encontramos hoy en día.

CAPITULO III

NORMAS DE APLICACIÓN DEL GPS PARA LA NAVEGACIÓN DENTRO DEL ESPACIO AÉREO MEXICANO

3.1. Objetivo y campo de aplicación

El objetivo de la Norma Oficial Mexicana es establecer los procedimientos de operación del sistema mundial de determinación de la posición (GPS) como medio de navegación dentro del espacio aéreo mexicano, y establecer los lineamientos para la selección, instalación, certificación y operación del equipo a bordo de las aeronaves con marcas de nacionalidad y matrícula mexicanas, por lo tanto se aplica a todos los concesionarios, permisionarios u operadores aéreos que operen o pretendan operar de acuerdo a la Ley de Aviación Civil con equipos GPS como medio de navegación.

3.2. Disposiciones generales.

Todos los concesionarios, permisionarios y/u operadores aéreos que operen o pretendan operar de acuerdo a la Ley de Aviación Civil con equipos GPS como medio de navegación deberán cumplir los lineamientos descritos en la Norma Oficial Mexicana.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2.1. Procedimientos de aplicación del sistema mundial de la determinación de la posición (GPS) como medio de navegación dentro del espacio aéreo mexicano.

La Norma Oficial Mexicana proporciona el material de orientación necesario para los procedimientos de aplicación del sistema mundial de la determinación de la posición (GPS) como medio de navegación dentro del espacio aéreo mexicano.

3.2.2. Fases de operación en México.

Fase I: Consiste en la implantación del GPS como medio suplementario de navegación en ruta IFR (Reglas de Vuelo por Instrumentos), así como en aproximaciones de no precisión empalmadas.

Fase II. Implantación del GPS debajo de 6,096 metros en rutas y procedimientos por instrumentos GPS publicados; así como en procedimientos por instrumentos GPS no publicados, aprobados previamente por la autoridad aeronáutica.

Abundando sobre la fase mencionada con anterioridad, tenemos que esta se aplicará debajo de 6,096 metros para la implantación GPS en rutas RNAV (Navegación de Área) publicadas; en rutas aleatorias solicitadas por el piloto y autorizadas por el control de tránsito aéreo, aprobadas previamente por la autoridad aeronáutica.

3.2.3. Procedimientos de operación.- Que a su vez se subdividen de la siguiente manera:

3.2.3.1. Operación de equipo GPS.- Este equipo deberá ser operado cumpliendo con los requerimientos del manual de vuelo, autorizado por la autoridad aeronáutica o la autoridad de aviación civil respectiva, en caso de permisionarios u operadores aéreos extranjeros.

3.2.3.2. Establecimiento, publicación de rutas y procedimientos GPS.- Para la utilización del GPS, se establecerán progresivamente rutas RNAV y procedimientos GPS para diferentes etapas de vuelo, mismos que serán publicados en el manual PIA (Publicaciones en Aeronáutica) de México.

Ahora bien, resulta importante mencionar que en el caso de que haya errores en el operativo, entonces se deberán observar los siguientes aspectos:

3.2.3.2.1. Difusión de cambios significativos.

Se deberán difundir por NOTAM (Aviso al Personal Encargado de las Operaciones de Vuelo) las anomalías y cambios significativos que afecten la operación del sistema GPS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3. Procedimientos IFR en las etapas de vuelo.

Todas las operaciones se efectúan, para las diferentes etapas de vuelo, de acuerdo a los numerales 3.2.1. y 3.2.2. de la Norma Oficial Mexicana, utilizando para tal efecto, el Sistema GPS apropiado de acuerdo a las características de cada equipo tal como se encuentran señaladas en la Circular AIC (Circular de Información Aeronáutica) publicada en el Manual PIA de México que lista los equipos GPS aprobados por marca, modelo y clase que cumplen para su uso en aviación, como se indica a continuación:

Para todas las etapas de vuelo:

- a) En las fases I y II, las aeronaves deberán contar con el equipo aprobado del sistema convencional de navegación instalado de acuerdo a la MEL (Lista de Equipo Mínimo). Deberá estar equipada con otro Sistema de Navegación de Área (RNAV) apropiado para cubrir la ruta que se pretenda operar.
- b) En la fase III, no es necesario el uso de otro sistema de navegación aérea.

3.3.1. Aproximaciones.

- a) Fase I: Los procedimientos de aproximación de no precisión empalmados, estarán denominados por la radioayuda primaria que los define en su leyenda, como por ejemplo: VOR PISTA 24 (GPS).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

b) Fase II: Los procedimientos de aproximación de no precisión estarán denominados por la radioayuda primaria que los define en su leyenda y las siglas GPS. Ejemplo: VOR o GPS PISTA 24.

c) Fase III: Los procedimientos de aproximación estarán denominados por las siglas GPS. Ejemplo: GPS pista 24.

3.3.2. Los procedimientos de aproximación GPS publicados por la Autoridad Aeronáutica deberán estar preprogramados en la base de datos del equipo y no podrán ser alterados por el piloto.

3.3.2.1. Procedimientos del piloto.



Los pilotos que pretendan utilizar equipo GPS, deberán revisar, previamente, los NOTAM (Aviso al personal encargado de las operaciones de vuelo) apropiados y presentar su plan de vuelo conforme a la Norma Oficial Mexicana que regule los requerimientos para la elaboración, presentación y autorización de planes de vuelo, que emita la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Los pilotos podrán solicitar los procedimientos publicados siempre y cuando se apeguen a lo descrito en el numeral 3.3 de la Norma Oficial Mexicana especificando el sistema de navegación que se utilizará.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Para poder efectuar una aproximación GPS, el piloto deberá verificar que el procedimiento programado en la base de datos se apegue estrictamente al procedimiento publicado en el manual PIA de México.

3.3.2.2. Procedimiento que deberá seguir el piloto en caso de falla del sistema GPS.

Para las fases I y II, en el caso de falla o discrepancia de este sistema GPS mayor a la prevista con respecto al convencional de navegación, el piloto deberá cancelar la operación del GPS, y navegar exclusivamente con base en el sistema de navegación convencional, debiéndolo notificar a los Servicios de Tránsito Aéreo y presentando un reporte a la autoridad aeronáutica.

3.4. Operaciones VFR (Reglas de Vuelo Visual) con GPS.

Aquí es necesario anotar que toda operación VFR realizada dentro del espacio aéreo mexicano, deberá apegarse estrictamente a los lineamientos particulares ya establecidos en la reglamentación VFR vigente.

3.5. Grado de concordancia con normas, lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración.

Primeramente debemos hacer referencia que la Norma Oficial Mexicana es equivalente con las normas y recomendaciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No existen Normas Mexicanas que hayan servido de base para su elaboración, dado que al momento no existen antecedentes regulatorios publicados en este sentido.

CAPITULO IV

**PROGRAMA DE MONITOREO DE ALTURAS DE VUELO
PARA ELIMINAR PROBABILIDAD DE ACCIDENTES.**

Anteriormente, las reglas mínimas de separación vertical (VSM) para las aeronaves en el espacio aéreo superior eran de 300 metros hasta comienzos de 1960, cuando se aumentaron a 600 metros debido a un creciente número de aeronaves en vuelo alto equipadas con barialtímetros cuya precisión de medición disminuía con el aumento de la altitud. La separación vertical en altos niveles surgió como problema a final en el año 1950; para 1966, se había establecido una mínima de separación vertical de 600 metros para ser utilizadas mundialmente por las aeronaves.

Con carácter regional y en circunstancias cuidadosamente prescritas, se consideró como una clara posibilidad que en ese momento no resultaban demasiado distantes para aplicarse en un futuro. Las disposiciones de la OACI señalaron que podría aplicarse la VSM reducida (RVSM) en condiciones específicas dentro de partes designadas del espacio aéreo, sobre la base de acuerdos regionales de navegación aérea.

Treinta y un años después —probablemente un poco más tarde que la predicción de los expertos optimistas en 1966— el sueño se hizo realidad y se introdujo una separación de 300 metros en el espacio aéreo de especificaciones de *performance* mínima de navegación (MNPS).

Para ser justos con el optimismo presente en los años sesentas, fue sólo con la escasez de combustible de la década de los setentas y el consiguiente aumento rápido de los costos, junto con la creciente demanda de una utilización más eficiente del espacio aéreo, que surgió un fuerte interés en reducir el VSM de 600 metros. Esto llevó a una recomendación del Grupo de Expertos sobre el Examen del Concepto General de Separación (RGCSP) de la OACI de que las posibles ventajas del RVSM eran tan grandes que debería alentarse a los Estados a realizar las importantes evaluaciones necesarias a pesar del costo y el tiempo necesarios para tal efecto.

Las evaluaciones coordinadas por el RGCSP, se realizaron durante el resto del año de 1980 y se concentraron en elaborar métodos y técnicas para estimar el nivel de riesgo y evaluar el nivel que se consideraría aceptable (posteriormente se conoció como nivel deseado de seguridad o TLS).

El RGCSP determinó que era técnicamente posible un VSM de 300 metros es decir que era realista construir, mantener y explotar sistemas de mantenimiento de altura de aeronaves de forma que la *performance* típica coincidiría con la implantación segura y el uso de un VSM de 300 metros.

Con esta conclusión el grupo de expertos determinó que era necesario que los requisitos de aeronavegabilidad se incluyeran en una especificación de *performance* mínima del Sistema de Aviación (MASPSA, la cual concretamente se refiere a la altimetría) para todas las aeronaves que aplicaran la separación

reducida. También, era necesario elaborar nuevos procedimientos operacionales y medios completos de vigilar la operación segura del sistema.

4.1. Enfoque gradual.

La región NAT (Atlántico Septentrional) se seleccionó para implantar inicialmente RVSM debido al tráfico esencialmente unidireccional y a la precisión de mantenimiento de la altura mayor que el promedio por parte de las aeronaves aprobadas para MNPS, establecida como parte de la estrategia de implantación RVSM adoptada por el Grupo de Planeación de Sistemas del Atlántico Septentrional.

Cuando surgió esta estrategia, ya se había establecido que podía lograrse una relación costo-beneficio positiva para la implantación RVSM, con el entusiasta apoyo de las líneas aéreas para su implantación rápida. La fase de planificación y preparación se inició plenamente en 1991, con la formación del Grupo de implantación de estudios verticales (posteriormente incorporado en el Grupo de Aplicación de Normas de Separación Reducida RSSIG). Durante esa época el suministro respecto al mecanismo de monitores que concernían al mantenimiento de altura cobró significativa importancia.

4.2. Función de la Agencia

La Agencia Central de Vigilancia (CMA) del Atlántico Septentrional fue establecida en 1980, constituyéndose como una organización sin fines de lucro

administrada por los Servicios Nacionales de Tráfico Aéreo (NATS), está encargada de todos los aspectos de la *performance* de navegación, cuentan con un personal de sólo dos individuos; un profesional y un procesador de datos, ambos a tiempo completo. También se beneficia de apoyo administrativo según se requiera.

Al comenzar la etapa de preparación y planificación de RVSM NAT, la CMA NAT ya había participado directamente en el proceso con importantes contribuciones a los grupos de trabajo apropiados. Previendo esto la RVSM comenzó a recoger datos sobre aeronaves que se apartaban de sus niveles de vuelo autorizados en 90 metros.

Un conocimiento de esas desviaciones correspondientes a un nivel autorizado, posteriormente denominado "errores operacionales de mantenimiento de altura", fue parte esencial del proceso de implantación. Esto se debió a que todos los análisis de riesgo exigían información sobre el mismo, debido a los errores operacionales con la *performance* técnica para el mantenimiento de altura de la aeronave.

4.3. Base de datos de aprobaciones RVSM

Fue necesario instalar un sistema de monitores para medir la altura para que el riesgo relacionado con la *performance* técnica de mantenimiento correspondiente a la altura de las aeronaves pudiera evaluarse. Para que fuera de utilidad la información recogida por el sistema, también fue necesario saber si las

aeronaves estaban modificadas para ajustarse a los MASPSA (Especificaciones Mínimas de *Performance* del sistema de altimetría).

Este requisito fue una razón para establecer una base de datos aprobadas para RVSM. Establecida por la CMA, contiene actualmente datos sobre mas de 3,300 aeronaves aprobadas para operaciones RVSM. Los datos se proporcionan directamente a la CMA por las autoridades aeronáuticas de los Estados, quienes participan en el proceso de aprobaciones RVSM.

Un beneficio secundario importante de la existencia de la base de datos de aprobaciones RVSM NAT es que ayudan a asegurar que se mantenga en un mínimo el número de aeronaves que operan en el espacio aéreo RVSM NAT. Esto se logra realizando una comparación mensual de aeronaves que se sabe han volado en espacio aéreo RVSM con la lista aprobada de la base de datos.

4.4. Requisitos de Vigilancia

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los requisitos de vigilancia surgieron por varias razones. En primer lugar, se necesitaban pruebas de la estabilidad del error del Sistema de Altimetría (ASE). Asimismo, se suponía que durante toda la labor del programa realizada por el ASE podría considerarse estable. Una segunda razón, fue que también se requería orientación sobre la eficacia del MASPSA y la efectividad de las modificaciones del sistema de altimetría. Finalmente debía establecerse confianza de que podría alcanzarse el Nivel Óptimo de Seguridad (TLS).

Se establecieron varios requisitos mínimos de vigilancia para asegurar que los objetivos podían alcanzarse con un alto nivel de confianza estadística. La consideración general según el plan en el momento, era introducir una etapa de verificación de un año en la cual podrían recogerse suficientes datos para demostrar que los objetivos podrían alcanzarse.

4.5. Selección del sistema de monitores

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La selección de un sistema de monitores de altura terminó siendo una elección entre dos soluciones técnicas: una unidad de monitores de altura (HMU) terrestre en emplazamiento fijo o una unidad de monitores de a bordo basados en el Sistema Mundial de Determinación de la Posición (GPS) (GMU).

El concepto original era que uno u otro de los sistemas se escogería para la tarea; no obstante, resultó claro que sería muy difícil satisfacer los objetivos del programa de monitores si sólo se introdujera uno de los sistemas. Mientras que el HMU (monitor de altura) permitiría recoger una amplia muestra de información en un tiempo relativamente breve, estaba limitado por su emplazamiento fijo. Por otra parte, el GMU podía instalarse en aeronaves que normalmente no volaran sobre un HMU. Ofrecía un alto grado de flexibilidad, pero estaba limitado por el tiempo que exigiría vigilar un gran número de aeronaves. Este sistema está integrado por dos HMU y unos cincuenta GMU.

4.6. Financiamiento y costos compartidos

Es necesario advertir que un cambio adicional de rutas para usuarios NAT (Atlántico Septentrional) abarca todos los costos relacionados con el sistema de monitores, pero la inversión inicial de capital fue efectuada por los Estados proveedores de ATS (Servicios de Tránsito Aéreo). Todos estos, con excepción de los Estados Unidos, contribuyeron proporcionalmente según los niveles de tráfico, a través de cada área para determinar su parte de los costos. NATS Ltd. se encargó de adquirir los HMU.

El financiamiento inicial del sistema de monitores basado en GMS se obtuvo a través de la Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos y el contrato para producir y explotar el sistema se otorgó a la Incorporación Radioaeronáutica (ARINC).

4.7. Recolección de datos

El punto de recolección de datos para el GMS es la propia GMU. La utilizada en el programa de monitores NAT es una unidad portátil del tamaño de una maleta grande que mide la altura geométrica de la aeronave. Se alimenta con energía de la propia aeronave y comprende también una computadora de mesa, un receptor GPS y dos antenas instaladas en las ventanas traseras del puesto de pilotaje.

Los datos recopilados por la GMU se transmiten después del vuelo a la estación de procesamiento de ARINC en Anápolis, Maryland (Estados Unidos). Utilizando datos de una red terrestre para estaciones de referencia GPS se corrigen diferencialmente y se envían luego al Centro Técnico de la FAA en Atlantic City, Nueva York.

Los datos de altura del nivel de vuelo meteorológico obtenidos de la Oficina Meteorológica se utilizan para determinar el Error Total Vertical (TVE). Combinando esta información con los datos correspondientes a la desviación de altitud asignada (ADD) recogidos como datos referentes a las unidades de radar para el Control de Tránsito Aéreo Terrestre (ATC), Nivel óptimo de seguridad, se obtiene un valor para el error del sistema de altimetría (ASE).

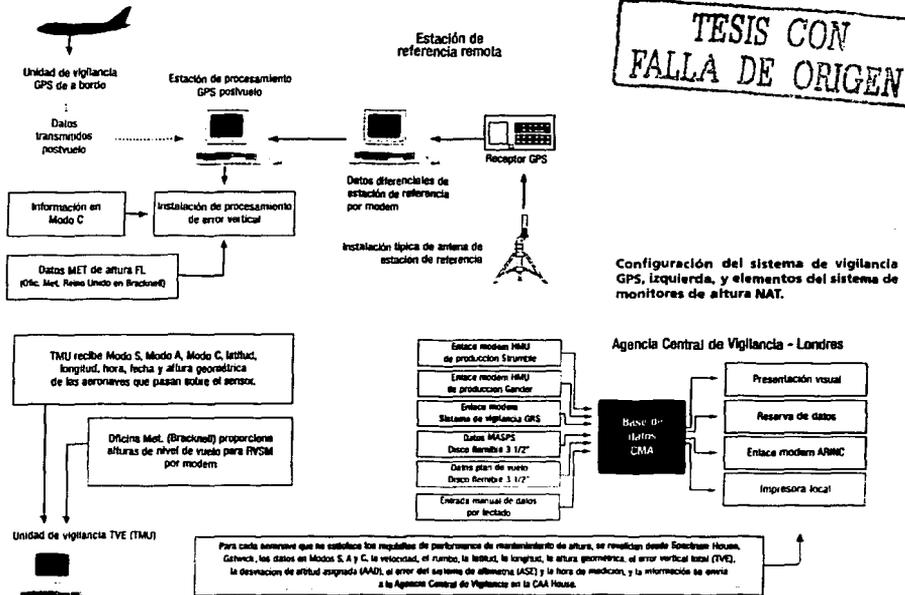
La HMU es un sistema pasivo de medición basado en tierra y operado a distancia que utiliza respuestas de radar secundario de vigilancia (SSR) para medir la altura geométrica, el error del sistema de altimetría, la desviación de altitud asignada y el error vertical total de las aeronaves que pasan a través de su zona de captura.

El sistema proporcionó datos de medición de calidad. Las instalaciones de control a distancia eran extremadamente limitadas y la carga de tráfico muy restrictiva, lo que llevó a adquirir sistemas HMU gemelos diseñados y construidos como sistemas completos de producción estándar. Ambos sistemas están ahora

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

instalados en las zonas de Strumble, Gales Meridional y el otro en Gander, Canadá.

A continuación incluiremos la siguiente gráfica, donde explicamos la configuración del sistema de vigilancia GPS, así como los elementos del sistema de monitores de altura NAT.



4.8. Principio de funcionamiento

La HMU consiste en tres receptores (esclavos) separados en el espacio ubicados aproximadamente según un triángulo equilátero con un cuarto receptor en el centro, emplazado con el equipo principal de procesamiento. Las aeronaves se interrogan por SSR y las respuestas se reciben en cada emplazamiento. Los relojes locales de cada esclavo se sincronizan exactamente y cada receptor determina la hora de llegada (TOA) con independencia de cada respuesta SSR. La hora de llegada resultante y la información, se transmite por los esclavos al sitio principal. El procesador HMU utiliza entonces una diferencia en la técnica TOA para calcular la posición tridimensional de la aeronave y así su altura geométrica.

Utilizando datos de pronóstico meteorológico ingresados a la HMU cada seis horas, puede obtenerse el error vertical de cada aeronave medida. Esto se realiza calculando la diferencia entre la altura geométrica del nivel de vuelo asignado. La desviación de altitud asignada de la aeronave medida puede calcularse evaluando la diferencia entre los datos de respuesta y el nivel de vuelo asignable más cercano. Una vez obtenidos estos datos, la desviación de altitud asignada y el error vertical total, se calcula por simple sustracción del error en el sistema de altimetría que tiene para tal efecto la aeronave.

La amplia evaluación y análisis teórico del sistema de medición ha demostrado que sólo pueden obtenerse mediciones precisas de aeronaves que

vuelan en línea recta y al mismo nivel. Además, la estabilidad de las mediciones es mejor cuando se acerca al centro de la zona de medición.

Normalmente el sistema produce mediciones de error vertical total con una precisión de 9 metros (una desviación estándar) comparable con la precisión del GMS.

4.9. Experiencia hasta la fecha

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La vigilancia de la altura en la región NAT se ha venido desarrollando durante tres años. Se estima que en este tiempo, la GMS y la HMU cerca de Strumble han vigilado entre ellas un 75% de los resultados obtenidos. La inclusión de la HMU de Gander a finales de 1998, habría aumentado esta cifra a un 85%.

Los resultados del programa hasta el momento indican que el error del sistema de altimetría es estable. Este resultado es muy importante dado que una conclusión negativa habría significado reconsiderar los planes para el RVSM global.

Para unos pocos tipos de aeronave, las especificaciones de *performance* mínima del sistema de aviación (altimetría) recién se están satisfaciendo; no obstante, hay claros indicios de que para la amplia mayoría se han mejorado los requisitos de MASPSA, en algunos casos por un margen considerable.

Además, la vigilancia ha identificado que algunas aeronaves aprobadas que cumplen con los requisitos planteados, es decir, con un error de sistema de altimetría medido superior a 90 metros. Quizá más interesante es que el programa de monitores ha detectado hasta la fecha por lo menos un grupo de aeronaves que no satisfacen las MASPSA. Naturalmente, esto no puede considerarse como una buena noticia, pero demuestra que la importancia otorgada al programa de monitoreo en alguna medida se ha justificado.

4.10. Vigilancia futura.

La planificación actual sugiere que en el futuro, las regiones de Europa y el pacífico habrán implantado operaciones RVSM. Actualmente, existen planes para realizar la vigilancia técnica en la altura de las aeronaves que operan en las respectivas regiones.

La razón es que una evaluación del sistema utilizando el modelo actual de riesgo de colisión exige, entre otros parámetros, el cálculo de la probabilidad de superposición vertical, si puede demostrarse que el factor determinante es el tipo o grupo de aeronave, estos datos futuros recogidos como parte de los programas RVSM de Europa y el Pacífico podrían utilizarse para calcular una probabilidad de superposición vertical para las evaluaciones de la seguridad en otras regiones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO V

ENLACE DE DATOS PARA OPTIMIZAR LAS COMUNICACIONES AERONÁUTICAS

Los resultados de varios experimentos recientes han llevado a la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) de Francia a la conclusión de que el enlace de datos podría ser muy eficaz para satisfacer la creciente demanda de servicios de comunicaciones aeronáuticas. El Centro Experimental de Navegación Aérea (CENA) y el Servicio Técnico de Navegación Aérea (STNA) de la Dirección anteriormente citada han estado a la vanguardia de las actividades sobre enlace de datos en los últimos años, con importante participación en proyectos europeos de comunicaciones y el STNA avanza actualmente con la introducción en Francia.

Según la experiencia en Francia y en otras partes, la rápida implantación de aplicaciones "sencillas" de enlace de datos, como las autorizaciones de salida y el servicio automático de información terminal (ATIS), la red de comunicaciones privadas era administrada por proveedores de servicios que no estaban acostumbrados a trabajar (en Europa, por lo menos) con autoridades de aviación civil. Asimismo, se carecía de la integración de estos sistemas sencillos con automáticos de tierra. No obstante, se obtuvieron enseñanzas y actualmente el STNA encara el difícil proceso de introducir enlaces de datos en el sistema de control de tránsito aéreo francés (ATC).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Actualmente, en Europa el marco para el desarrollo de aplicaciones y servicios de enlaces de datos es un subgrupo de Eurocontrol denominado ODIAC, que ha identificado varios servicios de enlace de datos que podrían beneficiar a los usuarios aéreos y terrestres. Estos servicios se basan en las normas y métodos recomendados (SARPS) de la OACI sobre vigilancia dependiente automática (ADS), comunicaciones por enlace de datos controlador-piloto (CPDLC).

De lo anteriormente expuesto, nos resulta interesante mencionar que los servicios identificados son:

- Gestión de comunicaciones ATC;
- Comunicaciones de autorizaciones e información (CIC);
- Autorización de salida (DCL);
- Parámetro de acceso al controlador (CAP);
- Coherencia del plan de vuelo (FLIPCY);
- Disponibilidad de rutas dinámicas (DYNAV); y
- Servicio de información terminal operacional por enlace de datos (D-OTIS), que incluye suministro de ATIS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Además, se pueden utilizar varios medios para satisfacer las necesidades de estos servicios, pero desde el punto de vista del usuario, el sistema de comunicaciones que se utilice tiene poca importancia, ya que lo realmente

importante es que la información esté disponible cuando se necesita y que las ventajas no se vean afectadas por el tiempo de tránsito para los intercambios de enlaces de datos.

Estas consideraciones han llevado a los planificadores de enlaces de datos a identificar un nuevo componente denominado servidor aéreo. Otros componentes del sistema ATC no parecerían ser capaces de adaptarse a funciones como las indicadas anteriormente. En el sistema ATC, por supuesto, ya existen componentes para comunicaciones con el mundo exterior, pero los servicios de enlace de datos exigen más información.

5.1. Arquitectura y funciones.

El enlace de datos es una tecnología que da a los sistemas de abordaje y terrestres acceso a una amplia gama de datos por aplicaciones que involucran al piloto, y al controlador o sistema terrestre por el otro. Con la diversidad de aplicaciones para sistemas terrestres complejos que se utilizan actualmente en Europa, es casi imposible considerar el enlace de datos como un componente único que puede agregarse sencillamente a los sistemas existentes. Los proyectos europeos han mostrado que las aplicaciones de enlaces de datos tendrían consecuencias en todos los elementos de un moderno sistema ATC.

La aplicación CPDLC es un buen ejemplo de algunos de los retos futuros. CPDLC entraña un diálogo por enlace de datos entre un controlador y un piloto.

Antes de poder transmitir mensajes CPDLC a un controlador, el sistema debe asegurarse que la aeronave establece una conexión por enlace de datos está claramente identificada, proceso que tiene lugar durante la fase de conexión.

La ausencia de un plan de vuelo en la base de datos terrestres no significa que la aeronave no ingresará en un espacio aéreo de una dependencia de servicios de tránsito aéreo (ATS); por el contrario, podría significar que la aeronave ha establecido prematuramente una conexión o que el plan de vuelo no había llegado a la dependencia ATS.

Cuando una aeronave no ha establecido la conexión adecuada con una dependencia ATS, puede ser útil contar con medios para reorientarla a la dirección correcta. En el ejemplo anterior, los problemas serían demasiados planes de vuelo correspondientes a la aeronave en el enlace. Si bien esta situación no debería ocurrir normalmente, algunos casos indican que la posibilidad de dicha ocurrencia debería tenerse en cuenta y, por consiguiente, habría que establecer mecanismos adecuados.

La conexión CPDLC con el controlador es particularmente importante, pues es la comunicación que normalmente proporciona control. Suponiendo que se requiera sólo una conexión CPDLC para cada dependencia ATS (hipótesis viable para Europa dado el volumen de espacio aéreo y las numerosas fronteras políticas), el enlace normalmente debe transferirse de una posición de controlador a otra durante el vuelo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No obstante, en el caso de que las reglas de organización en una dependencia ATS se refieran a una posición de control a la que no pertenezcan, entonces se deberá dirigir la petición CPDLC del piloto al controlador responsable, para que solicite una función de distribución. Ésta podría basarse en una radiodifusión a cada posición de trabajo, permitiendo que cada una de ellas decida si la petición de CPDLC debe presentarse visualmente. Por otra parte, podría basarse en una orden centralizada que tendría conocimiento dinámico de la posición de control y de la estación de trabajo asignada. Estas dos soluciones tienen sus ventajas y desventajas, así como también resultan posibles otras opciones. Quedando por establecer la elección final, aunque la intención es obtener la aprobación de las naciones europeas en donde se aplica.

Los sistemas actuales se basan cada vez más en la actualización de los parámetros de vuelo para poder predecir conflictos, preparar coordinación o simplemente proporcionar un registro fiable y preciso del vuelo. El controlador ingresa manualmente la información basándose en las autorizaciones orales recibidas. Con la introducción del enlace de datos, la interfaz humano-máquina deberá diseñarse para que el controlador no tenga que disponer propiamente primero y enviar una autorización CPDLC y posteriormente actualizar el sistema una vez que el piloto ha acusado recibo de la misma.

Los controladores que han participado en ensayos CPDLC han sido explícitos: no encontrarían aceptable el enlace de datos si éste repercutiera en

una mayor carga de trabajo. Por consiguiente, el sistema debe diseñarse para que cuando un piloto acusa recibo de una autorización, el controlador sea informado, y con ello se actualice el sistema.

La iniciación del enlace de datos se proporciona por la aplicación de gestión de contexto (CMA) o de notificación de instalaciones ATS, que permite el intercambio del direccionamiento y la información de aplicación entre la aeronave y tierra para indicar qué servicio de enlace de datos esperar. Actualmente, existen dos clases de aplicaciones de enlaces de datos: la primera se relaciona con las aplicaciones tendientes a proporcionar servicio al piloto y al controlador (ejemplos típicos con ADS y CPLDC). El segundo tipo incluye a los proveedores de servicios, principalmente al piloto (como los servicios de información de vuelo por enlace de datos o D-FIS, que incluye D-ATIS).

En términos de arquitectura terrestre, estos dos conjuntos de aplicaciones de enlace de datos plantean diferentes cuestiones. La ADS y el CPDLC tienen consecuencias en el procesamiento de datos por radar (RDP), procesamientos de datos de vuelo (FDP) sistemas de presentación visual, mientras que la D-FIS inicialmente sólo afecta la presentación en la torre para generar el mensaje ATIS.

Estas diferencias conducen a dos arquitecturas funcionales distintas. La vigilancia dependiente automática en Francia no está prevista inicialmente para utilizarla como vigilancia pura. Sólo se utilizará el perfil proyectado ampliado ADS para verificar la coherencia con el plan de vuelo de tierra.

Esta verificación de coherencia se realizará por el FDP. Para CPDLC, el servidor aéreo enviará las peticiones del piloto a la posición de trabajo adecuada para presentación al controlador. La respuesta de éste se transmite al servidor aéreo que la envía al sistema de comunicaciones para entregar la aeronave. El enlace entre el servidor aéreo y el sistema de aproximación se utiliza para intercambiar mensajes de autorización de salida.

La arquitectura objetivo para la D-FIS es bastante diferente y se basa en la idea de que sería contraproducente pedir al piloto que se conectara con cada aeropuerto, para el cual se requiera un mensaje ATIS o un aviso a los aviadores (NOTAM).

Al principio, sólo se introduciría gradualmente el servicio ATIS, pero la intención es aplicar el mismo principio a los NOTAM, pronósticos de aeródromo (TAF) e informes meteorológicos aeronáuticos rutinarios (METAR) si éstos estuvieran disponibles por enlace de datos.

El mensaje ATIS continuaría elaborándose localmente para asegurar coherencia entre el ATIS oral y el ATIS por enlace de datos, pero cada mensaje ATIS también se enviará a un servidor ATIS nacional en interfaz con un servidor aéreo para D-ATIS. Esta solución permitirá utilizar el enlace de datos para obtener ATIS en cualquier aeropuerto francés que también proporcione esta información por vía oral.

El ATIS y las autorizaciones de salida se aplican en los aeropuertos de París. A su vez, otros aeropuertos estarán equipados con sistemas similares conectados a un sistema de direccionamiento e informe para comunicación de aeronaves (ACARS). La transición a la arquitectura objetivo tendrá lugar una vez que se comience a instalar la red de telecomunicaciones aeronáuticas (ATN).

5.2. Infraestructura de comunicaciones.

Los servicios de enlace de datos para pilotos y controladores exigen una infraestructura de comunicaciones extremadamente fiables para satisfacer los requisitos de calidad del servicio (QOS) de los futuros usuarios. Debido a que estos requisitos son tan estrictos, la OACI normalizó la ATN y esta red se considera actualmente como la infraestructura de comunicaciones que apoyará en el futuro la mayoría de los servicios de enlace de datos.

Las normas y métodos recomendados de la OACI constituyen las especificaciones técnicas de la ATN, pero no son suficientes en sí mismas para el funcionamiento de la red. Antes de que pueda lograrse una condición operacional habrá que trabajar más en el diseño. Una ATN que cumpla plenamente los SARPS de la OACI pero que se introduzca sin un diseño adecuado podría no satisfacer los exigentes parámetros QOS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Hay varias cuestiones que deben tratarse durante la etapa de diseño. En un buen diseño se optimizan la distribución del tráfico de datos. Esto significa que los datos de usuario llegarán a su destino tan rápido como sea posible. Tales aspectos se estudian durante el diseño constitutivo para las operaciones ATN.

Un elemento principal de la red es el enlace aire-tierra, la cual debe ser posible comunicarse con una aeronave en cualquier momento durante un vuelo, lo que significa que debe disponerse en todo el espacio aéreo de la cobertura proporcionada por satélite.

Las subredes aire-tierra se diseñan para transmitir datos operacionales para el control de tránsito aéreo (ATC), pero también pueden transmitir mensajes de comunicaciones aeronáuticas (AOC) y, posiblemente, también otros tipos de mensaje (comunicaciones de los pasajeros). Estas subredes pueden proporcionarse por las autoridades de aviación civil o por los proveedores de servicios de comunicaciones aeronáuticas utilizando, en la mayoría de los casos, transmisiones por satélite.

Las organizaciones de aviación civil y las líneas aéreas pueden avanzar separadamente para introducir sus propias subredes mundiales, resultando en dos infraestructuras independientes que probablemente exijan tipos diferentes de equipo ATN de a bordo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para lograr el diseño técnico óptimo y minimizar el costo al mismo tiempo, las organizaciones de aviación civil deben establecer un arreglo cooperativo con los proveedores de servicios de comunicaciones aeronáuticas (en algunos casos, estos proveedores son compañías privadas). Esto podría significar que las administraciones de aviación civil deben estar dispuestas a aceptar algunos mensajes AOC de líneas aéreas en sus propias infraestructuras aire-tierra, mientras se basan en los dispositivos de redes privadas aire-tierra para transmitir datos ATC.

Un arreglo cooperativo también significaría que los proveedores de servicios tendrían que asegurar que su infraestructura satisfaga los estrictos requisitos QOS relacionados con la transmisión de datos ATC. Si bien esto puede imponer cambios en la forma en que en algunas partes se proporcionan servicios ATC, es probable que este aspecto se implante en la mayoría de los casos.

Las administraciones de aviación civil y los proveedores de servicios de comunicaciones deberán aprender a trabajar juntos. Pero varios aspectos institucionales y jurídicos deberán también resolverse antes de poder introducir con éxito la ATN. Por ejemplo, deberá definirse y administrarse un plan mundial de direccionamiento. Un buen plan de direccionamiento es un requisito previo importante para que toda la operación sea eficiente en el proceso de encaminamiento, en el cual deberá identificarse un mecanismo de facturación adecuada para las transferencias de datos que puedan ser diferentes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La ATN transmitirá datos sensibles y, por consiguiente, debe protegerse eficazmente contra cualquier tipo de intrusión no autorizada. La OACI está elaborando mecanismos para permitir el acceso a la red. El acceso protegido brinda un mínimo nivel de seguridad. También, puede lograrse más seguridad mediante precauciones sencillas y locales como el acceso restringido al equipo, el uso de códigos de acceso por el personal, etc.

Una verificación permanente del funcionamiento adecuado se logra mediante mecanismos de vigilancia que verifiquen el cumplimiento con QOS y un seguimiento cooperativo. Si bien varias soluciones técnicas existentes parecerían satisfacer los requisitos de usuario, surgirán cuestiones comerciales y políticas.

La ATN no se implantará en el vacío; ya existen sistemas y redes de comunicaciones aeronáuticas y la introducción de la ATN tendrá que integrarse progresivamente en un entorno de enlace de datos ya existente.

En Europa, varios grupos trabajan en la implantación de ATN. Todos ellos estudian los aspectos en gran detalle. Por ejemplo, encontramos que Eurocontrol creó un equipo especial de implantación ATN en 1997, y que la Comisión Europea inició varios proyectos sobre funcionamiento ATN en Europa. El Grupo Europeo de Planificación de la Navegación Aérea (GEPNA) de la OACI también ha creado un subgrupo de implantación ATN. Estos diversos equipos trabajaron con los primeros resultados a mediados de 1999.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El STNA participa activamente en la mayoría de estas evaluaciones. Los progresos logrados han sido importantes; para citar algunos ejemplos de actividades recientes, se ha estudiado una arquitectura de encaminamiento ATN que pronto será validada mediante pruebas; así también, se ha iniciado la definición de escenarios de aplicación de enlaces digitales.

5.3. Planificación de la implantación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como se indicó, el STNA prepara actualmente la integración del enlace de datos en el sistema automático francés. Esta implantación excede la capacidad de un solo país y, por consiguiente, la actividad se ha iniciado en cooperación con Eurocontrol. El subgrupo ODIAC de Eurocontrol proporciona información técnica que va más allá de los requisitos globales de la OACI aclarando los requisitos y ventajas operacionales en Europa. Otros equipos especiales examinan las consecuencias del enlace de datos para la vigilancia.

Esas actividades son el preámbulo necesario para la implantación operacional. Algunas aplicaciones, como las autorizaciones de salida y ATIS, esperan aprobación de extremo a extremo antes de declararse operacionales. Actualmente, STNA prevé que el uso operacional de la próxima generación de servicios de enlace de datos se iniciará en 2004. Los servicios disponibles para esa fecha probablemente comprenderán la gestión de comunicaciones ATC (que constituyen un grupo de varios aspectos relativos a las comunicaciones de autorización e información), la autorización de salida ATN, la coherencia del plan

de vuelo y la disponibilidad de rutas dinámicas. La fecha de entrada operacional para 2004 se debe a la dificultad de insertar el enlace de datos en los programas actuales.

Este proyecto comprende la sustitución de las antiguas franjas de progreso de vuelo y radar por una pantalla de presentación electrónica en los centros ATC franceses. La primera aplicación operacional de este equipo se inició en el Centro de Control de Área Occidental en Brest, a comienzos de este año, y todos los centros ATC franceses serán actualizados para el presente año de 2003.

Las primeras versiones del soporte lógico utilizadas en esta actualización, no serán suficientemente perfeccionadas como para adaptarse a los requisitos de enlace de datos y, al igual que con todos los nuevos sistemas, debe reservarse tiempo suficiente para corregir los problemas que surjan.

Este programa de sustitución es un claro ejemplo del tipo de actividades necesarias al planificar la implantación del enlace de datos.

La introducción de este enlace exige cuidado, puesto que si cualquiera de los elementos que apoyan las aplicaciones de enlace de datos no resultará eficaz y de fácil utilización, el riesgo de rechazo por el controlador será muy elevado, también habría la necesidad de integrar el enlace de datos a otros mecanismos del controlador. Las autorizaciones de salida son un buen ejemplo de este requisito, así también en los ensayos en Orly se utilizó una computadora personal

instalada en la torre con el sistema operacional, situación aceptable para un sistema en ensayo. No obstante, los controladores de la torre establecieron la necesidad de una mejor integración del equipo y de menos pantallas.

CAPITULO VI CONCLUSIONES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1) La investigación con respecto al sistema GPS iniciada en 1983 por E.U.A. mediante el comité especial de la OACI, creó una nueva tecnología que constituye un sistema de navegación computarizado que puede ubicar a una aeronave en un punto dentro del espacio aéreo en cualquier momento.

2) El sistema de navegación GPS creado y propuesto por E.U.A. como la base para determinar la posición de las aeronaves en el espacio aéreo, fue adoptado por México y regulado mediante las "Normas de Aplicación del GPS para la Navegación dentro del Espacio Aéreo Mexicano" de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

3) Uno de los principales objetivos de la Norma Oficial Mexicana consiste en establecer los lineamientos para la selección, instalación, certificación y operación de los equipos a bordo de las aeronaves con marcas de nacionalidad y matrículas mexicanas. Por lo tanto, dicha norma resulta aplicable para todos los concesionarios, permisionarios u operadores aéreos que operen o pretendan operar de acuerdo a la Ley de Aviación Civil con equipos GPS como medio de navegación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4) Actualmente, en México el sistema GPS se utiliza como navegador con un grado de exactitud de 2.54 centímetros de error.

5) Otra ventaja del GPS, es acerca de su funcionamiento para determinar la altura de vuelo aeronáutico. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios.

6) Para satisfacer la creciente demanda de servicios de comunicaciones aeronáuticas, el sistema GPS demostró ser un eficaz enlace de datos, entre el controlador y el piloto.

7) Un elemento principal de la red de telecomunicaciones aeronáuticas es el enlace aire-tierra, que hace posible la comunicación con una aeronave en cualquier momento del vuelo. Actualmente se dispone en todo el espacio aéreo mexicano de la cobertura necesaria proporcionada por los satélites.

8) Con la utilización del sistema GPS, no será necesario que el controlador envíe una autorización de salida a la aeronave, ya que el GPS se actualiza en forma automática.

9) De acuerdo con lo investigado en el presente trabajo, la experiencia en el uso del sistema GPS, tanto en México como en otros países, ha sido satisfactoria en cuanto al uso de rutas de navegación. La tecnología GPS hace casi imposible

que la aeronave se pierda de su trayectoria. Actualmente, los pilotos y navegantes usan el GPS para trazar sus cursos precisos y llegar a sus destinos. El empleo de estas rutas GPS evita que las aeronaves realicen desplazamientos innecesarios, tanto ascendentes, como descendentes, tratando de mantener un recorrido lo más uniforme y rectilíneo posible. Los beneficios para las aerolíneas, se traducen principalmente en un ahorro de combustible, y en la reducción del tiempo de viaje.

10) Otras aplicaciones del sistema GPS de gran importancia se llevan a cabo, en áreas como la topografía, la geodesia y la geología. Actualmente, el Sistema GPS tiene un gran número de aplicaciones en la vida diaria, y se espera en el corto plazo encontrar aun más. Prácticamente, con este sistema se pueden proporcionar las direcciones en cualquier destino, ya sea que se viaje a pie, en automóvil o en avión.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ALTITUD: Distancia vertical desde el nivel medio del mar hasta un punto en el espacio.

ALTURA: Distancia vertical desde un punto del terreno a un punto en el espacio.

ELEVACIÓN: Distancia vertical desde el nivel medio del mar hasta un punto del terreno.

EFEMÉRIDES: Es la órbita por la cual se desplazan los satélites en el espacio

NAVEGACIÓN AÉREA: Es la ciencia y tecnología que tiene como objetivo determinar la posición de un aeroplano respecto a la superficie de la tierra y mantener con exactitud la ruta deseada.

NOTAM: Aviso al personal encargado de las operaciones de vuelo.

NAVEGACIÓN DE ÁREA: Proporciona el potencial para la capacidad de aumento del espacio aéreo en ruta.

RADIOFARO OMNIDIRECCIONAL (VOR): Señal de radio que los pilotos pueden utilizar para orientarse. El radiofaro VOR (alcance omnidireccional de alta frecuencia) usa una antena central para emitir una señal continua de referencia y cuatro antenas de señal variable. El piloto establece un rumbo de forma manual y confía en el equipo electrónico para procesar las señales que recibe del radiofaro VOR. El receptor del avión compara las fases de las señales para determinar la demora del avión e indicar si la aeronave está a la derecha o a la izquierda del rumbo indicado.

REGLAS DE VUELO POR INSTRUMENTOS (IFR): Navegación realizada siguiendo las indicaciones de los equipos de navegación de la aeronave.

REGLAS DE VUELO VISUAL (VFR): La navegación por vuelo visual es un sistema empleado para determinar dónde y cómo se encuentra una aeronave en un momento determinado partiendo de una situación o posición anterior.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

BENSON, Jim. "El Programa de Monitores de Altura NAT permite reducir los niveles de riesgo", Separación Vertical Reducida, National Air Traffic Services LTD, Inglaterra.

FERNÁNDEZ RUBIO, J. A. y GRANADOS SECO, G. "Sistema de Posicionamiento Global", Editorial Mundo Electrónico, 1997.

FILIP, A., "Signals of Change GPS", World Magazine, 1998.

GROIT, Jean-Francoise. "Introducir aplicaciones de enlace de datos en los modernos sistemas ATC plantea retos", Departamento Técnico de Navegación Aérea", Francia.

HERRING, T.A. "The Global Positioning System, Scientific American", 1996.

Manual del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.), México, 2000.

Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCT3-2000 que regula los procedimientos de aplicación del GPS, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) México, 2000.

Revista de la Organización de la Aviación Civil Internacional, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.), Volumen 54, Número 3, Abril de 1999.

Revista de la Organización de la Aviación Civil Internacional, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.), Volumen 55, Número 2, Abril de 1999.

SONNENBERG, G. J., "The Global Positioning System, Radar and Electronic Navigation", Butterworths, 1988.

WARE, R y BUSINGER, S., "Global Positioning Finds Application in Geosciences Research", Universidad Navstar Consortium, Boulder Universidad de Hawaii, Honolulu, 1995.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN