FECHA	18 diciembre 2008

NÚMERO RAE	
PROGRAMA	Programa de ingeniería aeronáutica

AUTOR (ES)	CASTILLO PAVA, Diego Fernando; ROJAS Kelly.
TÍTULO	PLAN DE TRANSICIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ACTUALES EN COMUNICACIONES, NAVEGACIÓN Y VIGILANCIA HACIA VDL, GNSS Y ADS PARA COLOMBIA.

PALABRAS CLAVES.

ACARS Aircraft Communications Addressing and Reporting System, **ACAS** Airborne Collision Avoidance System, **ADS-B** Automatic Dependent Surveillance – Broadcast, **AMCP** Aeronautical Mobile Communications Panel. Sub-panel to ICAO, **AMSS** Aeronautical Mobile Satellite Service, **ATC** Air Traffic Control, **ATM** Air Traffic Management, **ATN** Aeronautical Telecommunication Network, **ATS** Air Traffic Services, **ATIS** Automatic Terminal Information Service, **BPSK** Binary Phase-Shift Keying, **CNS** Communication Navigation and Surveillance, **CPDLC** Controller Pilot Data Link Communication, **D-ATIS** Datalink Automatic Terminal Information Service, **D8PSK**

Differentially Encoded 8-Phase Shift Keying, **ECAM** Electronic centralized aircraft monitor, **EFIS** Electronic Flight Instrument System, **FANS** Future Air Navigation Systems, **FCU** Flight Control Unit, **FDMA** Frequency Division Multiple Access, **FIS-B** Flight Information Service Broadcast, **FMC** Flight Management Computer, **FMS** Flight Management System, **FMGCS** Flight Management Guidance Control System, **GLONASS** Global navigation Satellite System, **GFSK** Gaussian-filtered Frequency Shift Keying, **GMSK** Gaussian

Minimum Shift Keying, a signal modulation method, **GNSS** Global Navigation Satellite System. Global Positioning System, **GPS** GNSS operated by the USA, **HFD** High Frequency Data Link, **IDU** Interactive Display Unit **INS** Inertial Navigation System, **MCDU** Multifunction Control Display Unit, **MU** Management Unit, **NS** National Server, **QPSK** Quadrature Phase Shift Keying, **RMP** Radio Management Panel, **RTCA** Radio Technical Commission for Aeronautics, **SAR** Search and Rescue, **SARPS** Standards And Recommended Practices, **SSR** Secondary Surveillance Radar, **STDMA** Self-Organized Time Division Multiple Access, **TDMA** Time Division Multiple Access, **TIS** Traffic Information Service, **TIS-B** TIS Broadcast, **VDL** VHF Data Link, **VHF** Very High Frequency

DESCRIPCIÓN

Este proyecto está orientado a la realización de un análisis detallado de los nuevos sistemas de Comunicación VDL (VHF Data Link), de Navegación GNSS (Global Navigation Satellite System) y de Vigilancia ADS (Automatic Dependent Surveillance) con el fin de implementar un plan de transición en Colombia hacia nuevas tecnologías, realizando un estudio técnico que permita determinar cuál o cuáles de ellas son las más convenientes.

Para el desarrollo del mismo se realizará un estudio de los sistemas actuales y los sistemas de transición, esto como base teórica y fundamental para la realización del proyecto.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS.

- Advisory Circular nº 90-RNAV Use of Suitable Area Navigation (RNAV) Systems on Conventional Routes and Procedures

- Anexo 10 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional,

Telecomunicaciones Aeronáuticas, Volumen I, Radio ayudas para la navegación.

- Avionics Fundamentals. Editorial Jeppesen.1974

- BLAKE, THOMSON, sistemas de Comunicaciones, modulación digital y modems, Roy, segunda edición.

- GREGORY T. FRENCH, Understanding The GPS, An Introduction to the Global Positioning system, GeoResearch inc, primera edicion 1996Pereira,

- HONEYWELL AEROSPACE ELECTRONIC SYSTEMS, Airbus A319/320/321 Flight Management SystemPilot.s Guide, May 2002.

- IEEE, Direct Kalman Filtering Approach For Gps-Ins Integration, mayo 2002.

- J. POWELL. Radio sistemas del Avión. Editorial Paraninfo. 1984

- JULES G. MCNEFF , The Global Positioning System [IEEE], IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 50, NO. 3, MARCH 2002.

- KORS VAN DEN BOOGAARD. Documento IATA, Diciembre 6, 2004.

- KJELLBERG, RIKARD, Master Thesis, Capacity and Throughput using a Self Organized Time Division Multiple Access VHF Data Link in Surveillance Applications, abril 1998

- LOBO PICÓN, JORGE ALBERTO Y MERCHÁN RINCÓN, FABIO ALEJANDRO. Estudio de viabilidad técnica y financiera para la implementación de la tecnología vhf data link “vdl” para servicios de tráfico aéreo de aviación civil en Colombia, marzo 2008

- MOHINDERS S, GREWAL Y ANGUS P ANDREWS, Kalman Filtering - Theory and Practice Using MATLAB, segunda edicion, 2001.

- MOIR IAN AND SEABRIDGE, Military Avionics Systems, editorial Wiley, 2006.

- Revista Mach 82 de iberia, Sistemas de Navegación por Satélite.

- THE TWENTY-FOURTH MEETING OF THE INFORMAL PACIFIC ATC CO-ORDINATING GROUP (IPACG/24)

- MELWYN SAVIO, Choosing the right VHF data link technology for Commercial aviat ion air traffic services, June 1995.

Internet:

- http://www.ads-b.com [Consulta: 19 septiembre de 2008]

- http://www.aena.es/csee/Satellite?pagename=Home [consulta: 30 Septiembre de 2008]

- http://www.aopa.org/whatsnew/newsitems/2007/070118ads-b.html Consulta: 20 septiembre de 2008

- http://www.atns.co.za/index.php/performance/capital-investments/multilateration [consulta: 12 septiembre 2008]

- https://buy.garmin.com/shop/shop.do?cID=195&pID=6422 [consulta: 08 octubre 2008

- http://www.castnav.com/products/cast_3000.html. [consulta: 10 octubre 2008]

- http://www.cns.se [consulta: 10 agosto 2008]

- http://www.eurocontrol.int/link2000/public/standard_page/pilot_atco_mockup.html [consulta: 5 julio 2008]

- http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/AVIACION_CIVIL/NAVEGACION/PROGRAMAS/GALILEO/documentacion.htm [consulta: 15 mayo 2008]

- www.fomento.es/.../ADS/progra_ads_eu.htm. [consulta: 10 septiembre 2008]

- http://www.garmin.com/garmin/cms/site/us/intheair [consulta: 05 octubre 2008]

- http://www.gpsworld.com/gpsworld/article/articleDetail.jsp?id=95325&sk=&date=&&pageID=1&searchString=gps/ins. [consulta: 20 septiembre 2008]

- http://www.medff.it/public/the_programme/technologies/ads_b.asp [consulta: 21 septiembre 2008]

- http://members.optusnet.com.au/~cjr/CPDLC.htm [consulta: 21 julio 2008]

- http://www.multilateration.com/surveillance/multilateration [consulta: 12 septiembre 2008]

- http://www.novatel.com/products/waassystem.htm. [consulta: 27 septiembre 2008]

- http://www.rockwellcollins.com [consulta: 04 octubre 2008]

- http://www.sarasotaavionics.com [consulta 19 agosto de 2008]

- http://www.sita.aero/default.htm [consulta 25 agosto de 2008]

http://www.seaerospace.com/ [consulta 11 agosto de 2008]

NÚMERO RA	
PROGRAMA	ingeniería aeronáutica

CONTENIDO

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL
Sistemas de comunicación
Sistemas de navegación
Sistema de vigilancia

DESARROLLO INGENIERIL

SISTEMAS DE TRANSICIÓN EN COMUNICACIÓN
ACARS
SISTEMAS DE TRANSICIÓN EN NAVEGACIÓN
Sistema de posicionamiento global (GPS)
Sistema mundial de navegación por satélite (GNSS

SISTEMAS DE TRANSICIÓN EN VIGILANCIA
Sistema de alerta de tráfico para la evasión de colisión en el aire
SISTEMAS NUEVOS O EN PRUEBA EN COMUNICACIÓN
VHF data link (VDL Modo 2)
VHF Data link (VDL) Modo 3
VHF Data link (VDL) Modo 4
SISTEMAS NUEVOS O EN PRUEBA NAVEGACIÓN
COMUNICACIONES satelitales (Satcom)
Galileo
GLONASS GLOBAL POSITIONING SYSTEM
SISTEMAS NUEVOS O EN PRUEBA DE VIGILANCIA
Multilateración
ADS B ground station
Plan de transición para sistemas de comunicación
Plan de transición para sistemas de navegación
SEGURIDAD AÉREA.

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

NÚMERO RA	
PROGRAMA	ingeniería aeronáutica

METODOLOGÍA

1.

ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN Empírico – analítico, porque el interés del proyecto es implementar los nuevos sistemas tecnológicos, lo cual está orientado a la transformación de un sistema para adaptar otro.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA. Tecnologías actuales y sociedades/ instrumentación y control de procesos/ aviónica.

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Se utilizaron asesorías de ingenieros, técnicos y talleres reparadores con experiencia en el campo de las comunicaciones en Colombia y a nivel mundial; se utilizo documentación que respalda los principales conceptos necesarios para el entendimiento de los diferentes sistemas de comunicación, navegación y vigilancia como documentación de la (FAA), Federal Aviation Administration, (OACI) Inetrnational Civil Aviation Organization.

POBLACIÓN Y MUESTRA La población involucrada en este estudio la conforma las empresas de aviación civil comercial y la autoridad de aviación civil en este caso la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.

HIPÓTESIS Es necesaria la implementación de sistemas de navegación, comunicación y vigilancia utilizando ADS, GNSS, Y VDL en Colombia. El ADS es el sistema de vigilancia más confiable que existe en la actualidad a nivel mundial en el caso de Colombia se reemplazarían los radares por este sistema, el VDL MODO 4 es un sistema de comunicación empleado para satisfacer las necesidades de los operadores tanto en costos como disponibilidad, la navegación por medio de GNSS permite tener una confiabilidad operacional al 100% ayuda a tener un conocimiento preciso y continuo de la posición de la aeronave, se pueden implementar rutas más cortas permite que se cargue menos combustible y más pasajeros.

VARIABLES

Variables Independientes Las aerolíneas y los entes reguladores, que puedan involucrarse en la aplicación de la tecnología VDL para comunicación, GNSS para navegación y ADS para vigilancia.

Variables Dependientes mejoría de la comunicación tierra – aeronave, mayor control de tráfico aéreo, mayor control de las aeronaves en todas las fases del vuelo y seguridad aérea en general.

CONCLUSIONES

Los beneficios del nuevo sistema de Comunicaciones por medio de datos, los enlaces entre los sistemas automatizados terrestres y de abordo serán más directos y eficaces. La tramitación y transferencia mejoradas de datos entre explotadores, aeronaves y proveedores de Servicios de Tránsito Aéreo, aliviará la congestión de los canales de voz, reducirá la posibilidad de cometer errores y permitirá un enlace más eficiente entre los sistemas terrestres y los sistemas de abordo. Todo lo cual favorecerá la prestación de la Gestión de Tránsito Aéreo (ATM).

Los beneficios del nuevo sistema de navegación en cuanto a disponibilidad, capacidad de guía y posición mejorada en cualquier parte del mundo, incrementará la eficiencia de las operaciones, reduciendo el tiempo de vuelo y el consumo de combustible requerido, por medio de una navegación más precisa. Los vuelos que tengan alguna limitación por razones de peso, podrán sacar ventaja de la reducción en los requisitos de combustible, incluyendo reservas por contingencia, incrementando en consecuencia la carga paga y las ganancias.

En cuanto a los beneficios del nuevo sistema de vigilancia, la utilización de la ADS, el Control de Tránsito Aéreo aplicado en espacios aéreos sin cobertura radar (basado en reportes a voz de pilotos y estimas de tiempo de pasaje de pilotos/controladores) evolucionará hasta brindar servicios muy similares a los proporcionados por el control radar, lo que incluye la visualización de la presentación de la posición de la aeronave en una pantalla en tierra (presentación seudo-radar).

PLAN DE TRANSICIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ACTUALES EN COMUNICACIONES, NAVEGACIÓN Y VIGILANCIA HACIA VDL, GNSS Y ADS PARA COLOMBIA.

DIEGO FERNANDO CASTILLO PAVA
KELLY ROJAS MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA,

PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA
BOGOTÁ, DC
2008

PLAN DE TRANSICIÓN PARA COLOMBIA DE LAS TECNOLOGÍAS ACTUALES EN COMUNICACIONES, NAVEGACIÓN Y VIGILANCIA HACIA VDL, GNSS Y ADS.

DIEGO FERNANDO CASTILLO PAVA
KELLY ROJAS MARTÍNEZ

Trabajo de grado como requisito para optar por el título de Ingeniero Aeronáutico

Asesor temático
Juan Oswaldo Hernández Rodríguez
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA,
11

PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA
BOGOTÁ, DC
2008

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Bogotá D.C. 30 de Octubre de 2008

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres quienes son las personas que me han apoyado a lo largo de mi vida para ser una mejor persona y una excelente profesional y me han dado fortaleza cada uno de mis días.

A mis Abuelos, familia, amigos y a todas aquellas personas que en el transcurso de este tiempo me han apoyado con sus enseñanzas, y me han acompañado en las alegrías y tristezas.

Kelly Rojas Martínez

DEDICATORIA

A mis padres y mis hermanas que con su constancia y esfuerzo me apoyaron en mi formación académica, y a mis abuelos que con su sabiduría me guiaron en el desarrollo de mi carrera.

Diego Fernando Castillo Pava

ABREVIATURAS

A/A	Comunicaciones Aire-Aire
AAC	Comunicaciones Administrativas Aeronáuticas
ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System
ACAS	Airborne Collision Avoidance System
ACI	Adjacent Channel Interference
ACL	ATC Clearances.
ACMS	Aircraft Conditional Monitoring System
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast.
AHRS	Attitude Heading Reference System
AIS	Automatic Identification System.
AM	Amplitude Modulation.
AMCP	Aeronautical Mobile Communications Panel. Sub-panel to ICAO.
AMSS	Aeronautical Mobile Satellite Service
A-SMGCS	Advanced Surface Movement, Guidance and Control System
AOA	ACARS over AVLC
AOC	Airline Operational Communications o también airline operational centre
ARINC	Aeronautical Radio, Incorporated
AT	Air transport
A/T	Comunicaciones Aire Tierra.

ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
ATN	Aeronautical Telecommunication Network
ATS	Air Traffic Services
ATIS	Automatic Terminal Information Service
ATSU	Air Traffic Service Unit
AVLC	Aviation VHF Link Control
BPSK	Binary Phase-Shift Keying.
CCI	Co-channel Interference
CPCS	Centralized Pressure Condition System
CMC	Computador de Mantenimiento Central
CNS	Communication Navigation and Surveillance.
CPDLC	Controller Pilot Data Link Communication
CS	Carrier Sense.
CSC	Common Signaling channel
D-ATIS	Datalink Automatic Terminal Information Service
DCL	Departure Clearance
DLS	Data link Service
DME	Distance Measuring Equipment
D-OTIS	Data link Operational Terminal Service
DOS	Directory Of Services
DSB-AM	Double Sideband Amplitude Modulation

DRNS	Doppler Radar Navigation Systems
D8PSK	Differentially Encoded 8-Phase Shift Keying
ECAM	Electronic centralized aircraft monitor
EFCS	Electronic Flight Control System
EFIS	Electronic Flight Instrument System
ETB	End of Transmission Block. Cierre de mensaje de ACARS
ETX	End of Text. Cierre de mensaje de ACARS
FAA	Federal Aviation Administration
FAC	Flight Augmentation Computers
FADEC	full authority digital engine control
FANS	Future Air Navigation Systems
FCC	Flight Control Computer
FCU	Flight Control Unit
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FIS-B	Flight Information Service Broadcast
FLIPCY	Flight Plan Consistency
FMC	Flight Management Computer
FMS	Flight Management System
FMGCS	Flight Management Guidance Control System
FWC	Flight warning computer
GA	General Aviation
GLONASS	Global navigation Satellite System.

GFSK	Gaussian-filtered Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying, a signal modulation method.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Global Positioning System.
GPS	GNSS operated by the USA.
GSC´s	Global Signalling Channels
GSIF`s	Ground Station Identification Frames
HFDL	High Frequency Data Link
ICAO	International Civil Aviation Organization.
IDU	Interactive Display Unit
INS	Inertial Navigation System
LGCIU	Landing Gear Control Interface Unit
LS	Local Server
LSC	Local Signal Channels
MCDU	Multifunction Control Display Unit
MU	Management Unit.
NS	National Server
OSI	Open System Interconnection
PDC	Pre- Departure Clearance. Autorización previa al despegue.
PPD	Pilot Preferences Downlink
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying

RMP	Radio Management Panel
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
SAR	Search and Rescue
SARPS	Standards And Recommended Practices
SSR	Secondary Surveillance Radar.
SSV	Specific Service
STDMA	Self-Organized Time Division Multiple Access.
TDMA	Time Division Multiple Access.
TDD	Time Division Duplex
TIS	Traffic Information Service
TIS-B	TIS Broadcast
UTC	Universal Time Co-ordinated
VDL	VHF Data Link
VHF	Very High Frequency. Frequencies in the region 30-300 MHz.
XID	Exchange Identity Frames

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 31

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 32

1.1 ANTECEDENTES 32

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 34

1.3 JUSTIFICACIÓN 35

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 36

1.4.1. Objetivo general 36

1.4.2. Objetivos específicos 36

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES 37

1.5.1. Alcances 37

1.5.2 Limitaciones 37

2. MARCO DE REFERENCIA 39

2.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL 39

2.1.1 Sistemas de comunicación 39

2.1.2 Sistemas de navegación 41

2.1.3 Sistema de vigilancia 52

2.3 MARCO LEGAL O NORMATIVO 57

3. METODOLOGÍA 58

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN 58

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA....58

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN....58

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA....59

3.5 HIPÓTESIS....59

3.6 VARIABLES....59

3.6.1 Variables Independientes....59

3.6.2 Variables Dependientes....59

4. DESARROLLO INGENIERIL....60

4.1 SISTEMAS DE TRANSICIÓN EN COMUNICACIÓN....61

4.1.1 ACARS....61

4.2 SISTEMAS DE TRANSICIÓN EN NAVEGACIÓN....68

4.2.1 Sistema de posicionamiento global (GPS)....68

4.2.2 Sistema mundial de navegación por satélite (GNSS)....85

4.3 SISTEMAS DE TRANSICIÓN EN VIGILANCIA....89

4.3.1 Sistema de alerta de tráfico para la evasión de colisión en el aire....89

4.4 SISTEMAS NUEVOS O EN PRUEBA EN COMUNICACIÓN....98

4.4.1 VHF data link (VDL Modo 2).....98

4.4.2 VHF Data link (VDL) Modo 3....109

4.4.3 VHF Data link (VDL) Modo 4....119

4.5 SISTEMAS NUEVOS O EN PRUEBA NAVEGACIÓN....129

4.5.1 COMUNICACIONES satelitales (Satcom).....129

4.5.2 Galileo....133

4.5.3 GLONASS GLOBAL POSITIONING SYSTEM 144
4.6 SISTEMAS NUEVOS O EN PRUEBA DE VIGILANCIA 169
4.6.1 Multilateración. 169
4.6.2 ADS B ground station 175
5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....185
5.1 PLAN DE TRANSICIÓN.....185
5.1.1 Plan de transición para sistemas de comunicación 185
5.1.2 Plan de transición para sistemas de navegación 187
5.2 SEGURIDAD AÉREA 192
5.2.1 Antecedentes en sistemas de comunicación 192
5.2.2 Antecedentes en sistemas de navegación.....195
5.2.3 Antecedentes en sistemas de vigilancia 199
7 CONCLUSIONES 201
8 RECOMENDACIONES.....204
8.1 COMUNICACIONES.....204
8.2 NAVEGACIÓN. 205
8.3 VIGILANCIA. 206
ANEXOS.....207
BIBLIOGRAFÍA 225

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Canales de frecuencia 48

Tabla 2. Frecuencias del localizador 50

Tabla 3. Los diferentes TSO aplicable a equipos de aviónica 56

Tabla 4. Transmisión de información en las fases de vuelo. 62

Tabla 5. Ubicación de las estaciones en Europa 67

Tabla 6. Datos de posición de los satélites 74

Tabla 7. Exactitud de la posición 87

Tabla 8. Frecuencias a las que operan los transponder 91

Tabla 9. Intervalos de interrogación 92

Tabla 10. Codificación del DQPSK 101

Tabla 11. Código Gray de 4 bits 105

Tabla 12. Accesos y características para las Comunicaciones Por Multiple acceso 108

Tabla 13. Configuraciones de SATCOM 132

Tabla 14. Parámetros del Datum PZ-90. 148

Tabla 15. GPS versus GLONASS 152

Tabla 16. Aerolíneas colombianas 186

Tabla 17. Características del GPS, INS Y GPS+INS 187

Tabla 18. Países que cuentan con el sistema de ADS 200

Tabla 19. Costo equipo de ACARS 207

Tabla 20. Costo equipo de GPS 208

Tabla 21. Costo equipo de TCASII 210

Tabla 22. Costos equipos para VDL 4 212

Tabla 23. Costos equipos para FMS 213

Tabla 24. Especificaciones y costos 215

Tabla 25. Costos para equipos ADS –B 217

Tabla 26. Costos de multilateración 218

Tabla 27. Costos del radar 218

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Antena de VHF 40

Figura 2: ADF con antena fija 43

Figura 3: Diagrama de bloques general del equipo de a bordo VOR 45

Figura 4: Indicaciones Del VOR 46

Figura 5: Interrogación y respuesta del DME 48

Figura 6: Indicador ILS 50

Figura 7: Indicador de senda de planeo y posición de las antenas en la pista 51

Figura 8: senda de planeo (Glide Slope) 52

Figura 9: Circuito básico del radar 53

Figura 10. Transponder. 53

Figura 11. Desarrollo de las etapas del proyecto 60

Figura 12. Modo de transmisión del sistema ACARS 63

Figura 13. Codificación de datos de ACARS 64

Figura 14. Cobertura VHF AIRCOM 67

Figura 15. Situación de las estaciones monitoras y de la estación de control maestra 69

Figura 16. Tiempo real diferencial del GPS 70

Figura 17. Esquema de la superposición de pseudo-amplitudes para obtener la posición respecto a la constelación de satélites 73

Figura 18. Análisis para el cálculo de error en el GPS 75

Figura 19. Medida de la distancia a los satélites 78

Figura 20. GPS KLN 90 83

Figura 21. Pantalla de TCAS II 92

Figura 22. Rangos de distancia a los que muestra intrusos el ACAS 96

Figura 23. Modo de implantación del Acas II 98

Figura 24. Modulación FSK binaria (nivel 2) 100

Figura 25. Diagrama vectorial del DQPSK 101

Figura 26. Modulación D8PSK 102

Figura 27. Diagrama de fase de D8PSK con codificación Gray . 104

Figura 28. Acceso Múltiple con División de Tiempo 111

Figura 29. Cuatro canales de conversación 112

Figura 30. Cuatro conversaciones en un canal 112

Figura 31. Multipath interference 115

Figura 32. VDL 3 Protocolo de acceso 117

Figura 33. Ranuras de tiempo en el VDL modo 4 120

Figura 34. Concepto de la ATN en el VDL modo 4 122

Figura 35. Tiempo usado por la ranura del VDL modo 4 123

Figura 36. Red de soporte en tierra para el ADS-B 124

Figura 37. Transponder VDL modo 4 125

Figura 38. GFSK superframe 128

Figura 39. Satcom principio de operación 129

Figura 40. Reposicionamiento de satélites 131

Figura 41. Sistema de navegación Galileo 134

Figura 42. División de segmentos. 136

Figura 43. Componente global de Galileo 138

Figura 44. Segmento espacio, constelación 30 satélites 141

Figura 45. Cubrimiento de los satélites GLONASS. 153

Figura 46. Visión general de la gestión de vuelo (FM). 155

Figura 47. Funciones básicas del FMS 156

Figura 48. Montaje en cabina del FMS y equipos 158

Figura 49. Sistemas interfasados 159

Figura 50. Sistemas interfasados con el FMGCS 162

Figura 51. Ángulos de Euler 165

Figura 52. Feedforward aided INS 167

Figura 53. Feedback aided INS 168

Figura 54. Triangulación en el sistema de multilateración 171

Figura 55. Estación de multilateración en tierra. 172

Figura 56. Funcionamiento del sistema de multilateración en aeropuertos 174

Figura 57. Arquitectura ADS-B 176

Figura 58. Equipo ADS-B instalado en la aeronave. 178

Figura 59. Estaciones en tierra del sistema ADS 179

Figura 60. Vigilancia del ADS B 181

Figura 61. Sistema vigilancia en tierra. 182

Figura 62. Sistema ADS en tierra. 183

Figura 63. Área de cobertura del proyecto NEAN a FL 330 194

Figura 64. Plataforma de giroscopios, acelerómetro y gimbal 196

Figura 65. Arquitectura del FMS/INS 197

Figura 66. Cobertura de ADS-B en Suecia 200

Figura 67. HFS-900D 208

Figura 68. Garmin GNS-530AW 209

Figura 69. Bendix/King KLN-94 209

Figura 70. KLN 94 209

Figura 71. Bendix king TPU-67A 210

Figura 72. TCAS 4000 211

Figura 73. TCAS 94 211

Figura 74. Transponder VDL modo 4 212

Figura 75. VHF 2100 high speed multi-mode data radio 213

Figura 76. GNS-Xls 214

Figura 77. FMS 3000 214

Figura 78. VDL 2000 Estación de Tierra 215

Figura 79. Estación de ADS-B y multilateración 216

Figura 80. Garmin GDL 90 (ADS-90B) 217

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A Costos de equipos	198
ANEXO B Lista de reportes del FMS	210

INTRODUCCIÓN

Este proyecto está orientado a la realización de un análisis detallado de los nuevos sistemas de Comunicación VDL (VHF Data Link), de Navegación GNSS (Global Navigation Satellite System) y de Vigilancia ADS (Automatic Dependent Surveillance) con el fin de implementar un plan de transición en Colombia hacia nuevas tecnologías, realizando un estudio técnico que permita determinar cuál o cuáles de ellas son las más convenientes.

Para el desarrollo del mismo se realizará un estudio de los sistemas actuales y los sistemas de transición, esto como base teórica y fundamental para la realización del proyecto.

El plan de transición se está llevando a cabo en varios países de acuerdo con las recomendaciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Colombia, a través de la Aeronáutica Civil, tiene proyectado realizar este estudio y ser pionero en la implementación de las nuevas tecnologías en las regiones de Centro y Sur América.

Así entonces, el desarrollo de este proyecto servirá como soporte para el proceso de implementación que proyecta realizar la Aeronáutica Civil y será una parte fundamental en el estudio de estas nuevas tecnologías.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

La Tecnología Aeronáutica sigue avanzando desde su inicio en todas las áreas buscando ante todo mejorar los índices de Seguridad Aérea. El área de la aviación que sin lugar a dudas se ha desarrollado con mayor ímpetu en los últimos años es la Aviónica, que incluye los sistemas de control automáticos de vuelo, las Comunicaciones, los sistemas de navegación y vigilancia.

Actualmente, la metodología presentada por las Comunicaciones es la del paso de voz a transmisión de datos.

La propuesta proyectada por los sistemas de navegación y vigilancia consiste en pasar de los sistemas basados en tierra a los sistemas satelitales en los que la posición se determina con ayuda de las constelaciones satelitales (GPS, GLONASS y GALILEO) y se transmite a los centros de control y a las aeronaves que están en el mismo espacio aéreo.

En Colombia se han realizado pruebas de los sistemas de mejoramiento de la señal GPS, e incluso se han publicado algunos procedimientos en ruta y aproximación para comprobar la estabilidad y precisión de esta navegación basada en satélites. Sin embargo no se han realizado pruebas de los nuevos sistemas de Comunicaciones ni de vigilancia.

En Europa se están realizando pruebas, por ejemplo, España ha definido y elaborado el calendario para el desarrollo de nuevas técnicas de vigilancia a través de una serie de programas que pretenden implementar, de forma

progresiva, la técnica ADS-C Automatic Dependent Surveillance - Contract (en el espacio aéreo canario) y la ADS-B Broadcast (en el área mediterránea), según el siguiente calendario:

- Durante al año 2006 continuará el uso pre-operacional de la ADS-C y del CPDLC en el área oceánica de Canarias, hasta su integración en el sistema SACTA.
- Durante los años 2006 y 2007 se instalarán estaciones ADS-B en zonas sin cobertura radar (cercanas a aeropuertos) con vistas a la implantación de la ADS-B en zonas sin cobertura radar.
- Durante 2010, ADS-B y ADS-C estarán funcionando en la totalidad de sus posibilidades.

La implantación de ambos sistemas ya ha comenzado. En el FIR Canarias, se dispone de un sistema ADS-C desde 1999, y su introducción operacional está supeditada a la introducción en el Atlántico sur. En Madrid se dispone de dos estaciones ADS-B, y Mallorca cuenta con una estación ADS-B. En Australia también se están implementando con fuerza estos sistemas, especialmente el ADS-B.

Por otra parte, EUROCONTROL ha lanzado un programa para la implantación de estos sistemas en Europa y han participado empresas europeas, italianas, francesas, y una griega, las cuales están estudiando la posibilidad de implementar estos sistemas en sus países.

Algunos de los proyectos en los que han participado son los siguientes: SMAA (Study of the Mediterranean and Adjacent Areas for ADS), ADS-MED (Study for ADS Deployment Programme in the Mediterranean Area), MEDUP (Mediterranean Update Programme).

Estos proyectos han hecho una serie de instalaciones y equipamientos de aeronaves para probar el sistema y han estudiado el impacto que este sistema traerá al mundo.

Los modos VDL se han desarrollado en forma independiente en Estados Unidos y en Europa. En el primero se desarrolló y se están realizando pruebas de VDL modo 3, mientras que en Europa se realizan pruebas con el modo 4.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema abordado con el presente proyecto es el estudio de la infraestructura actual en Colombia y la proyección de un plan de transición hacia los sistemas VDL, GNSS y ADS. Esto implica el análisis de gastos del proveedor (Aeronáutica Civil) y del usuario (aeronaves que usan el espacio aéreo Colombiano), teniendo en cuenta las ventajas técnicas.

La comunicación aérea en Colombia presenta problemas de interpretación especialmente cuando la comunicación oral se realiza en idioma inglés. Esto ha provocado incidentes e incluso accidentes aéreos con pérdidas humanas y materiales incalculables.

La navegación actual, basada en sistemas en tierra, presenta problemas de baja cobertura y limitaciones respecto al número de usuarios. Adicionalmente, las rutas no son directas porque se trazan con base en las ayudas de navegación en tierra.

La vigilancia en la actualidad tiene limitaciones de cobertura especialmente en niveles de vuelo inferiores. Igualmente el entorno es solamente visto y controlado por el ATC (controlador de tráfico aéreo).

¿Es posible la implementación de los sistemas ADS, GNSS y VDL en la industria aeronáutica Colombiana?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Por las razones mencionadas anteriormente se hace necesaria la implementación de nuevas tecnologías, como las propuestas en el desarrollo de este proyecto.

El uso de nuevas tecnologías se propone como una solución a las limitaciones que presentan los sistemas actuales, con el fin de ampliar la capacidad de desempeño de las Comunicaciones y sus áreas de servicio, generando así un mayor rango de seguridad en procesos de vuelo y un control más centralizado.

Con la transmisión de datos la probabilidad de error por mala interpretación se disminuye notablemente, y esto a su vez incrementa los niveles de Seguridad Aérea.

Con el GNSS los problemas de cobertura y las limitaciones por número de usuarios desaparecen ya que la cobertura es global y las rutas se pueden trazar en línea recta.

Con el ADS no hay limitaciones de cobertura y el entorno es visto por todas las aeronaves dentro de su espacio aéreo.

Así entonces, es de gran importancia que Colombia esté a la vanguardia en el proceso de implementación de nuevas tecnologías y pueda prestar servicios no solamente en el espacio aéreo colombiano sino también en países vecinos.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general Analizar las diferentes tecnologías en Comunicaciones (HFDL, VDL y AMSS), navegación (GPS, GLONASS y GALILEO) y vigilancia (ADS) y determinar cuál o cuáles de estas se pueden implementar en Colombia, realizando un plan de transición hacia estas tecnologías.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer los principios de funcionamiento y características de los sistemas actuales de comunicación, navegación y vigilancia.

- Caracterizar los sistemas de transición (ACARS, GPS y TCAS II) teniendo en cuenta principios de funcionamiento e incidencia en la actualidad.

- Analizar el funcionamiento de los sistemas actuales de Comunicaciones en Colombia y la transición hacia las nuevas tecnologías basadas en transmisión de datos.

- Analizar la operación de los sistemas actuales de Navegación y la viabilidad de implementación técnica de las nuevas tecnologías basadas en satélites.

- Analizar la posibilidad de transición de los radares hacia el ADS en Colombia.

- Analizar el incremento respecto a la Seguridad Aérea y establecer ventajas y desventajas de la implementación de nuevas tecnologías en Colombia

- Crear un plan de transición hacia las nuevas tecnologías en CNS basado en el estudio de los sistemas actuales.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1. Alcances

El proyecto culmina con la entrega del documento PLAN DE TRANSICIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ACTUALES EN COMUNICACIONES, NAVEGACIÓN Y VIGILANCIA HACIA VDL, GNSS Y ADS PARA COLOMBIA, el cual incluye:

- Un análisis del funcionamiento de cada uno de los sistemas en sus modos y se determino cuál es técnicamente el mejor para cada área: navegación, comunicación, vigilancia.

- Un análisis de las ventajas que ofrecen las nuevas tecnologías y se realizo una comparación entre las nuevas tecnologías y los sistemas actuales, así como los aspectos técnicos y las recomendaciones por las recomendaciones que se deben tener en cuenta para su implementación en Colombia.

- Un plan de transición en el cual se incluyen los sistemas de navegación, comunicación y vigilancia que se recomienda implementar en Colombia.

1.5.2 Limitaciones

- Sólo se dan las bases teóricas para la implementación de los sistemas para la Aeronáutica Civil.

- No se realizaron pruebas ya que no se cuentan con los instrumentos ni la infraestructura necesaria, pero se darán resultados de pruebas realizadas en otros países.

- Se incluyeron los costos de los equipos de navegación, comunicación y vigilancia de los sistemas que se recomendaron, pero no se especifica el costo del equipo para cada tipo de aeronave, el costo del STC ni de la instalación, ya que esto varía dependiendo, de la empresa que presta el servicio y del tipo de aeronave.

- No se incluye el diseño de infraestructura y software para la capacitación del personal de ATM ni de la tripulación. Como tampoco la ubicación de los equipos en tierra a lo largo del territorio Colombiano.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1.1 Sistemas de comunicación

- **Comunicaciones V.H.F (Very high requency)** Las Comunicaciones VHF son usadas actualmente para el control de tráfico aéreo y son parte fundamental de cualquier aeronave para poder iniciar su vuelo sobre áreas controladas. Este tipo de Comunicaciones son inmunes a la distorsión proveniente de interferencias causadas por tormentas eléctricas y otros factores externos, por lo que son más apropiadas para el control de tráfico aéreo.

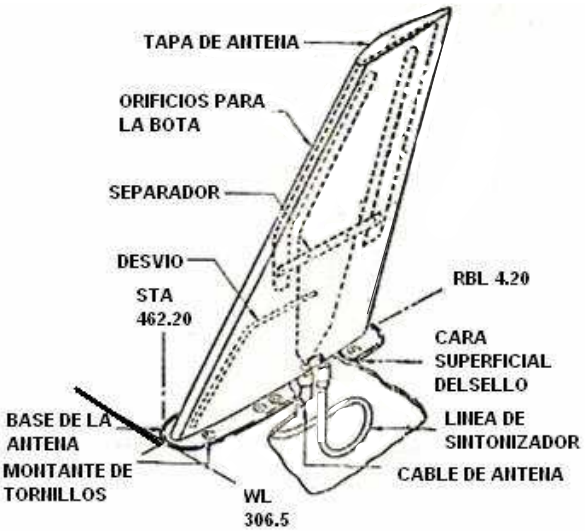
Durante el vuelo las aeronaves son continuamente monitoreadas por los controladores de tránsito aéreo, quienes imparten instrucciones a los pilotos para llevar a cabo un vuelo seguro. Este control es especialmente importante en la etapa de aproximación y aterrizaje, donde el controlador, después de autorizar a la aeronave, le suministra toda la información necesaria al piloto para que éste la tenga en cuenta y consiga llegar de manera exitosa a la etapa final del vuelo.

Para uso aeronáutico, a las Comunicaciones en VHF se les asignó el rango de frecuencias de 118 a 137 MHz La característica de propagación en VHF es limitada en distancia por la línea de visibilidad, lo cual es una desventaja frente a las Comunicaciones en HF que tienen un alcance mayor.

La separación entre canales es de 25 Khz., lo cual da un total de 760 canales. En Europa ya se está usando la separación de 8.3 Khz. que triplica el número de canales ya que allí la densidad de aeropuertos es bastante alta.

Las antenas en VHF tienen formas de aletas y normalmente se ubican una en la parte inferior y otra en la parte superior de la aeronave (Figura 1) y sirven tanto para la transmisión como para la recepción. El tipo de modulación que se usa en Comunicaciones VHF es AM ya que el limitado rango asignado para uso aeronáutico no permite modular en FM. El alcance total de la onda está dado por la siguiente formula $d = 4.1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$ donde h1 y h2 son alturas a nivel del mar en kilómetros y d es el alcance máximo.

Figura 1. Antena de VHF



Fuente: MOIR Ian y SEABRIDGE Allan, Militar Avionics System, USA, John Wiley & Sons, 2006. P. 260.

Cada panel tiene dos selectores y dos indicadores de la frecuencia seleccionada; una es la frecuencia principal y la otra la frecuencia en espera (standby). El piloto puede escuchar las dos frecuencias pero solo transmite en la seleccionada como principal. Para intercambiar el rol de las frecuencias solo es necesario girar un conmutador y así transmitir en la que se había seleccionado como en espera.

2.1.2 Sistemas de navegación

- **Non Direccional Beacon (NDB).** El NDB se conoce como radiofaro y es un trasmisor que emite una señal no direccional en el rango de 190 a 1750 Khz. A bordo del ADF (automatic Directional Finder) se encarga de buscar la dirección en la que el respectivo radiofaro se encuentra con respecto a la aeronave. El patrón de radiación del radiofaro es de polarización vertical y la identificación que es comúnmente dos o tres letras que se trasmite en código Morse, el cual modula en AM la señal de la portadora.

La señal del radiofaro por ser de frecuencia MF es propensa a interferencias en condiciones atmosféricas adversas y por ser de una longitud de onda relativamente grande, la margen de error es de ± 10º. Durante la noche el alcance del radiofaro puede ser de varios cientos de millas náuticas pero la precisión disminuye por qué se puede interferir con señales de frecuencias cercanas como emisoras de AM.

El ADF le indica al piloto solo la dirección en la que se encuentra el radiofaro, para determinar la posición de la aeronave es necesario disponer de la señal de otro radio faro y en la carta de navegación trazar el Azimut respectivo, la aeronave se encontrara en el cruce de estas dos líneas.

Existen radio faros de baja potencia (25 y 50 W) media potencia (100 y 200 W) y alta potencia (500 y 1000 W).

- **Automatic directional finder (ADF)** El funcionamiento del ADF se basa en la comparación de amplitud y fase de las señales recibidas por las antenas direccionales y no direccionales. El método usado por el ADF se llama de mínima profundidad de modulación. El ADF está construido por un esquema cerrado que

lleva a cero el ángulo de diferencia entre la dirección del mínimo de la antena direccional y la dirección a la estación.

El ADF se utiliza para cinco diferentes propósitos:

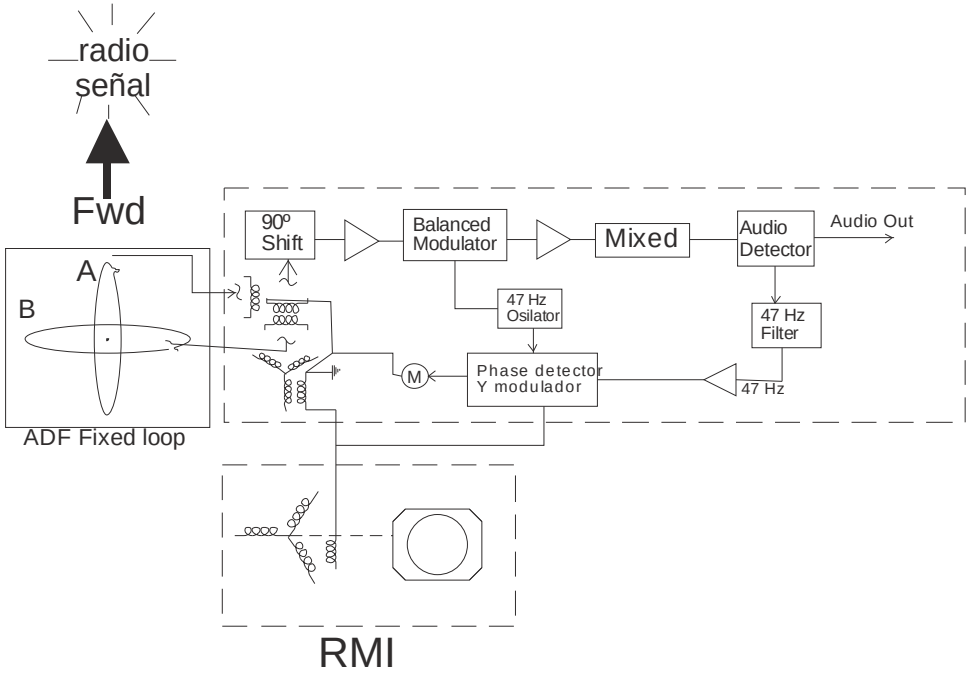
1. Fijar posición del avión.
2. Navegación en Ruta.
3. Aproximación por Instrumentos.
4. Para procedimientos de Espera (Holding).
5. Indicar el punto de inicio de un procedimiento de aproximación más complejo.

También existen dos tipos de ADF principales, ADF con antena fija (figura 2) y ADF con antena giratoria, este tipo de ADF no es tan común como el ADF con antena fija, ya que este último no tiene tantas partes móviles, este consiste en dos aros orientados 90º entre ellos, cada aro se conecta a un estator de un sincro resolver en el receptor del ADF.

Si el radiofaro está directamente enfrente de la aeronave el aro A tendrá máxima señal y el aro B tendrá nulo el rotor del resolver en el receptor tendrá un nulo ya que esta perpendicular con el estator que tiene señal y paralelo con el estator que está en nulo.

El rotor del resolver en el receptor tendrá máxima señal, ya que esta paralelo al campo resultante del estator. La posiciones intermedias del radio faro, resultaran en posiciones intermedias en el campo resultante del estator del resolver.

Figura 2: ADF con antena fija



Fuente: JEPPESEN sanderson training products, avionics fundamentals. Germany: jepppesen 1974.

- **VOR Receptor Omnidireccional de VHF.** Este recibe las señales de las estaciones VOR en tierra y da información de los radiales. Con el selector de radial del Indicador de Situación Horizontal (HSI), se selecciona el radial correspondiente. La señal de desviación recibida, con respecto al radial seleccionado, se repite en la barra de Indicación de Desviación del Curso, (CDI) del HSI y se envía al sistema Director de Vuelo (FD), para que también dé marcación en la barra CDI del Indicador de Agujas Cruzadas, (FPDI). Además recibe señales de ruta que son llevadas a las agujas de los Indicadores de Rumbos Magnéticos (RMI), indicando hacia dónde se encuentra la estación de tierra sintonizada. Este receptor trabaja en un margen de frecuencias que va desde 108 a 117.95 MHz, con una separación entre canales que se incrementa de a 50 Khz., este utiliza polarización horizontal, dirección de radiación (DDR) omnidireccional en el plano horizontal.

La posición de la antena generalmente está ubicada en el estabilizador vertical y está construida por ranuras situadas a ambos lados del estabilizador para proporcionar un DDR lo más no direccional posible. Esta antena puede compartirse con el subsistema localizador del ILS a excepción de las aeronaves certificadas para operaciones en CAT II/III en que ambas antenas son independientes

- EQUIPO DE TIERRA. La operación de un equipo VOR de tierra está basada en la diferencia de fase entre dos señales que emite: una de referencia y otra variable. La fase de referencia, de 30 Hz, (omnidireccional) radia desde la estación en una forma circular, la fase de esta señal es constante en todos sus 360 grados de arco. Esta señal de referencia modula en frecuencia a una onda sub-portadora de 9.960 Hz, la cual modula a su vez en amplitud a la portadora.

La fase variable (direcciones) también de 30 Hz, se transmite como un campo giratorio, y el diagrama de radiación en forma de cardioide, esta señal gira uniformemente a 1800 rpm y su fase cambia un grado por cada grado de cambio en azimut alrededor de la estación; es decir al NE, E, SE, S, SW, NW y estas dos señales se alinean en el N (norte magnético), lo cual implica que las dos señales están en fase. Los radiales de un VOR son infinitos, pero el equipo de abordo es capaz de diferenciar 360 de ellos.

La aeronave verá una distribución espacial en la potencia de la señal gracias al sincronismo entre las dos señales. Cuando la señal fija de 30 Hz pasa por el máximo la cardioide apunta al norte. La diferencia de fase entre la señal fija y la variable da la posición angular de la aeronave respecto la estación fija. Para ello hay que medir el desfase entre dos señales. La posición angular obtenida recibe el nombre de Marcación VOR.

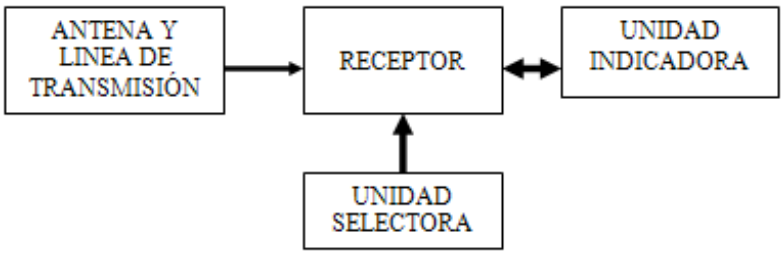
Esta diferencia de fase entre estas dos señales se interpreta en el receptor del avión como un rumbo en brújula respecto al norte magnético.

El VOR tiene las siguientes ventajas sobre el ADF:

- Menos interferencias debidas a las tormentas eléctricas.
- Mayor exactitud.
- Se puede compensar automáticamente la deriva producida por el viento, llevando la aguja centrada.
- Para recibir las señales de una estación VOR no puede haber ningún obstáculo intermedio tales como montañas, edificios, o la misma curvatura de la tierra, pues la propagación es en línea recta.

Equipo a bordo. El equipo VOR es el encargado de recibir, procesar y presentar la información proporcionada por la estación de tierra para su explotación en forma manual (piloto) o en forma automática (piloto automático). El diagrama general en bloque del equipo de abordo se muestra en la figura 3.

Figura 3: Diagrama de bloques general del equipo de a bordo VOR



Fuente: Arquitectura básica de un sistema VOR abordo.

El VOR consta de una caja de control, en la que se selecciona la frecuencia, y un mando de volumen que permite escuchar la identificación de la radio ayuda de tierra.

Figura 4: Indicaciones Del VOR



(a) (b) (c)

Fuente:: Trining departamento of IVAO. Arcos DME. [Articulo en internet] http://personal.auna.com/toniju10/6%20ArcosDME.pdf disponible abril 2008 [26 Abril 2008]

En figura 4 (a) se muestra el CDI desplazado a la izquierda lo que indica que la aeronave se encuentra a la derecha de la Ruta seleccionada de 351. Se observa que el indicador de TO/FROM muestra la cabeza de la aguja apuntando hacia delante lo que indica que se dirige hacia la estación. Si girando el OBS se centra el CDI se leerá en la parte superior de la carta la ruta en la que se encuentra la estación y se verá lo mismo en la parte inferior el radial de la misma.

En la figura 4 (b) se muestra el CDI centrado y el indicador de TO/FROM en FROM. Se deduce pues que la aeronave se encuentra en el radial 119 o lo que es lo mismo en la ruta de 299.

En contraposición en la figura 4 (c) se muestran el CDI centrado y el indicador de TO/FROM en la posición de TO. En esta situación se dira que la aeronave se encuentra en la ruta de 299 o en el radial 119 de la estación. Si se asume que el indicador de TO/FROM hace las veces de cabeza de aguja, al igual que en el ADF se lee las rutas en la cabeza de la aguja y los radiales en su cola.

DME Distance Measuring Equipment El DME determina la distancia (en millas náuticas) entre la aeronave y la estación en tierra (VOR). [1]

Consiste en un transmisor y un receptor que interactúan entre sí para obtener información de la distancia entre la aeronave y la estación en tierra. El DME trabaja en conjunto con el VOR para obtener la posición de la aeronave en coordenadas polares, aunque también se puede instalar con el sistema de aterrizaje ILS, para dar información de distancia a la pista en la etapa de aterrizaje.

En los dos casos, el piloto no tiene que sintonizar la frecuencia DME, pues ésta se encuentra nivelada con la del VOR y con la del localizador del ILS.

El transmisor de la aeronave envía una interrogación a la estación en tierra, figura 5, el receptor de la estación la recibe y después de procesarla, el transmisor de la estación envía una respuesta que es recibida por el receptor de la aeronave. El tiempo que demoró en llegar la respuesta es medido y convertido en información de distancia. La antena del DME es de polarización vertical y maneja potencias de transmisión de 1 Kilovatio. La exactitud es de 185 m ó ± 0.1 nanosegundo.

- ***Canales del DME*** *C*ada DME tiene una frecuencia de interrogación y una frecuencia de respuesta. El rango de frecuencia del DME es de 962 a 1213 Mhz y los canales están distribuidos de la siguiente manera.[2]

- Banda baja:1025 a 1087 MHz interrogación
  962 a 1024 MHz. Respuesta

---

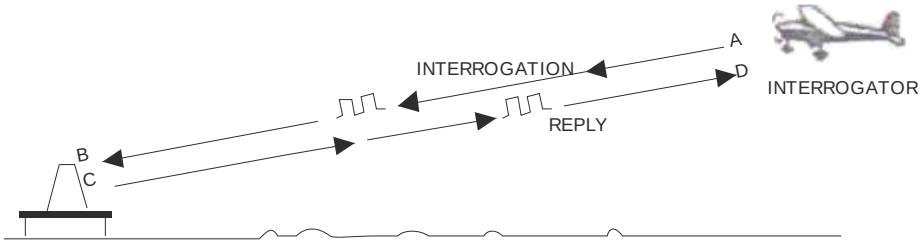
[1] JEPPESEN Anderson training products, avionics fundamentals. Germany: jepppesen 1974. P. 216.

[2] RESUMEN: (notas de clase): Universidad San Buenaventura, Facultad de ingeniería, Bogotá, profesor Oswaldo Hernández: Por: Kelly rojas; 2007, abril. P 143.

- Banda alta: 1088 a 1150 MHz interrogación
  1151 a 1213 MHz respuesta

En cada canal la diferencia entre la frecuencia de interrogación y la de respuesta es siempre de 63 MHz (ver Tabla 1)

Figura 5: Interrogación y respuesta del DME



Fuente: [3]

Tabla 1. Canales de Frecuencia

Canal	F_{int} (MHZ)	F_{resp} (MHZ)	F_{apar} (MHz)
39X	1063	1000	110.2
40X	1064	1001	110.3
76X	1100	1163	112.9
77X	1101	1164	113.0

- **Instrument Landing System ILS** Es un sistema de aproximación a la pista que tiene por guía dispositivos externos al avión que permiten llegar con seguridad a la pista de aterrizaje, y esto se logra por medio de algunos instrumentos a bordo.

Aunque existen otros tipos de sistemas, el ILS es el más común y usado.

[3] JEPPESEN,Op.cit., p.216

El ILS proporciona a las aeronaves información guía en el plano horizontal (localizador) y en el plano vertical (senda de planeo), para que el piloto, sin referencias visuales externas, pueda alcanzar un punto de la trayectoria de descenso situado a una altura llamada “altura de decisión”.[4]

Consiste en dos haces de radiofrecuencia, uno horizontal y otro vertical, que emitidos desde un punto al inicio de la pista de aterrizaje y con cierto ángulo de elevación, generan un cono de señal que sirve para volar directamente hacia el punto de emisión.[5]

El VOR 1 es el instrumento que estando a bordo permite establecer si el vuelo se está efectuando dentro del cono y determinar la desviación existente con respecto a la senda de planeo. Este instrumento posee dos agujas, una horizontal y otra vertical, que indican la separación existente de la línea imaginaria que forma la senda de planeo.

Si la aguja está hacia la derecha, indica que debe llevarse a cabo un viraje a la derecha, y si la aguja está hacia abajo, indica que se debe descender figura 6.

El sistema total está formado por tres partes, cada una con un transmisor en tierra, un receptor y procesador de señal en el avión. La orientación lateral la suministra el localizador tanto para rumbo frontal como para rumbo inverso; la senda de planeo suministra orientación vertical para el rumbo frontal solamente mientras las balizas realizan medidas de distancia.

---

[4] Ibíd. P 144.

[5] El cono no es apreciable físicamente pero sí es detectable por medio de los instrumentos a bordo, y el ideal es volar dentro de él hasta llegar a la pista de aterrizaje.

Los sistemas que componen el ILS son los siguientes:

Localizado: suministra la orientación lateral para rumbo frontal y rumbo inverso
Senda de planeo: suministra orientación vertical solo para rumbo frontal
Marcadores IM, MM y OM: realizan medidas de distancia

Figura 6: Indicador ILS



Fuente: Simulator of NASA. National Aeronautics and space administration. [Articulo de internet] http://ails.arc.nasa.gov/Images/Simulators/AC96-0223-3.html. [Consulta: 21 Abril 2008]

El localizador es una estación transmisora que da guía acimutal al piloto con respecto al eje de pista. Con esta información el piloto puede saber su ubicación respecto al eje de la pista. El localizador opera en el rango de frecuencia de 108 a 112 MHz, rango que es compartido con el VOR de la siguiente manera

Tabla 2. Frecuencias del localizador

VOR	108.00
Localizador	108.10

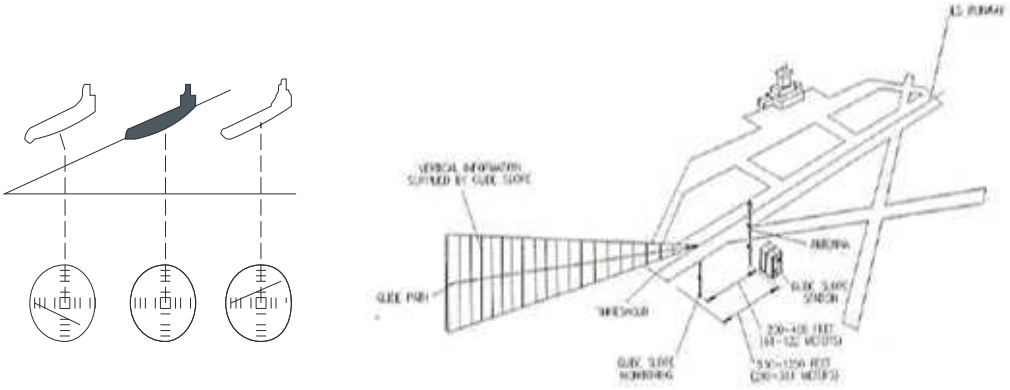
Si el decimal es par, es frecuencia VOR, y si es impar, es frecuencia localizador.

Las antenas del localizador son de polarización horizontal y se instalan a una distancia nominal de 300 metros del umbral de pista de la cabecera contraria a la de aterrizaje.

La senda de planeo se encarga de suministrar orientación vertical a la aeronave en la etapa de aterrizaje.

El ángulo nominal de descenso es de 3º, figura 7, y la banda de frecuencia del transmisor es de 329 a 335 MHz, cuando el piloto sintoniza el localizador, automáticamente se sintoniza la senda de planeo, las antenas de la senda de planeo son unidireccionales y tienen polarización horizontal. La cobertura es de 17 Mn, y su ancho de curso es constante en 1.4º figura 8.

Figura 7: Indicador de senda de planeo y posición de las antenas en la pista

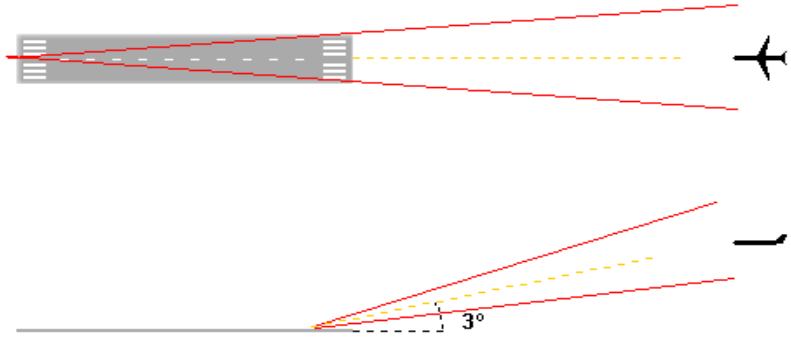


Fuente: [6]

Marcadores Los marcadores son parte del ILS, aunque actualmente no son obligatorios debido a que en algunos casos han sido reemplazados por un DME.

[6] Notas de clase, Op.cit., p 151.

Figura 8: senda de planeo (Glide Slope)



Fuente:[7]

2.1.3 Sistema de vigilancia

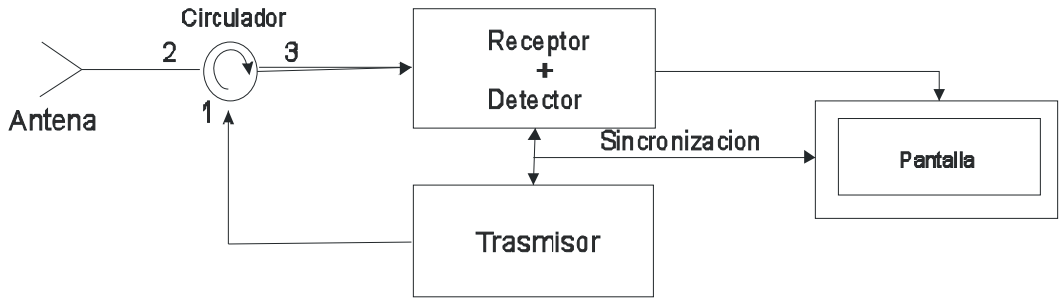
- **Radares** El principio del RADAR (Radio Detection And Ranging), se basa en la propagación de ondas. El Radar es un sistema que transmite una onda electromagnética en una determinada dirección y luego detecta la misma onda reflejada de un objeto en su camino.[8]

La figura 9 ilustra el diseño básico de un radar. El transmisor genera una onda la cual es llevada a la antena a través del circulador, el cual solo deja pasar en sentido horario de 1 a 2 y de 2 a 3.

[7] JEPPESEN, Op.cit., p.200.

[8] Notas de clase, Op.cit., p 157.

Figura 9: Circuito básico del radar



Fuente:[9]

Las ondas electromagnéticas se propagan a velocidad constante c= $3x10^8$ m/s. Al ser reflejadas por cualquier objeto, son recibidas de nuevo en la antena y pasan al receptor a través del circulador. Allí son detectadas y dependiendo del método de medición, la información se presenta en el display.

Figura 10. Transponder.



Fuente: Taller de reparaciones Aviónica general de Colombia

El Transponder de la figura 10, es transmisor y receptor, el cual opera en frecuencias de radar. Recibe interrogaciones de radar en tierra a 1030 MHz y retorna una respuesta codificada de pulsos en una frecuencia de 1090 MHz

[9] Ibíd., p.157

El transponder es capaz de responder a interrogaciones en Modo A (Identificación de Aeronaves) y en Modo C (Reporte de altitud) en cualquiera de los 4096 códigos disponibles, los cuales difieren en el tiempo y número de impulsos transmitidos mediante la respuesta a las transmisiones terrestres, además permite a las computadoras de ATC (Control de Tráfico Aéreo) mostrar en las pantallas de radar de Control En Ruta, Control de Aproximación y Control de Salida la información de identificación de las aeronaves, velocidad de altitud y velocidad terrestre.

El rango de medida del Radar es una onda continua, con frecuencia f_0, la señal reflejada tendrá la misma frecuencia (si la velocidad relativa entre el radar y el objeto es igual a cero). Sin embargo cuanto mayor la distancia del objeto y cuanto menor su tamaño, la señal reflejada será más débil.

La distancia al objeto se puede obtener por medio de uno de los siguientes métodos:

- Mediante el cálculo del tiempo entre el eco del objeto detectado y la señal trasmitida.
- Mediante el cálculo de la diferencia en frecuencia entre el eco recibido y la señal transmitida, en el caso de modulación lineal en frecuencia.

- **Radar primario de vigilancia.** El radar primario de vigilancia (PRS) no cuenta con la cooperación activa del objeto. La radiación electromagnética se emite a impulsos desde una antena direccional en tierra, los objetos en línea con la radiación, ya que no son transparentes a la longitud de onda usada, reflejaran nuevamente la energía hasta el PSR. Midiendo el tiempo trascurrido y apreciando la dirección de la radiación puede hallarse la distancia y marcación del objeto. La presentación se realiza por medio de un indicador de posición en planta, dicho sistema tiene los siguientes inconvenientes:

Debe radiarse suficiente energía para asegurar que se reciba el mínimo nivel detectable de energía en el PSR. Tras el trayecto completo para un objeto deseado en el límite de cobertura. La cobertura es proporcional a la raíz cuarta de la energía radiada.

En la presentación aparecerán otros objetos además de acciones (ecos parásitos). Esto puede reducirse bastante usando el efecto Doppler para detectar solo objetos móviles.
No puede identificar un avión individual a no ser que realice una maniobra requerida.
No se conoce la altitud del avión a no ser que se use un radar determinado de altitud separado.
No se dispone de ningún en lace de información.

- **Radar secundario de vigilancia.** El radar secundario de vigilancia forma parte del sistema de vigilancia radar ATC; siendo el PSR la otra parte. Se montan dos antenas coaxialmente, una para PSR y la otra para el radar secundario de vigilancia SSR, y se les hace girar a la vez radiando direccionalmente. [10]

El SSR por sí mismo es capaz de proporcionar información de distancia y marcación por lo que es PSR podría parecer redundante; no, obstante se debe tener en cuenta aviones que no incorporen transpondedor ATC o posibles averías.

A diferencia del radar primario donde el objeto es pasivo, y es detectado por reflexión de la señal enviada por el radar, con el radar secundario el objeto juega

[10] J.POWELL. Radio sistemas del avión. Madrid: paraninfo, 1984. P136

un papel activo en el proceso de detección, capturando la interrogación y devolviéndola con información de respuesta. Esto tiene 4 efectos importantes:

1. No se requieren potencias de pico tan elevadas (es suficiente con potencias pico del orden de 1 kilovatio)
2. El receptor no requiere sensibilidades tan grandes (basta con unos -87 dBm).
3. Puede intercambiarse información entre los equipos de tierra (interrogación) y en vuelo (transponder).
4. La diferencia entre las frecuencias de interrogación y de respuesta evita la presencia de las señales provenientes de blanco pasivos indeseados.

2.2.4 TSO Para los diferentes sistemas que serán mencionados como sistemas actuales, de transición y sistemas nuevos o en prueba, la FAA emite una TSO (Technical Standard Order) en la cual se especifica los requerimientos mínimos de desempeño, materiales, partes y procesos de fabricación, así como su uso aplicado en la aeronave.

Las diferentes TSO que aplican para los sistemas son:

Tabla 3. Los diferentes TSO aplicable a equipos de aviónica

Sistema	TSO n°
VOR	TSO-c40a
ADF	TSO-c41d
ILS	TSO-c34b / c36e
DME	TSO-c66b
NDB	TSO-c129a
ACARS	TSO-c160 /c163a / c169a

Sistema	TSO n°
ADS-B	TSO-c154a / c166a
TCAS II	TSO-c119b
GPS	TSO-c145b
HF	TSO-c170
VDL-2	TSO-c160
VDL-3	TSO-c163a

Las TSO son un resumen de las RTCA que contienen información más detallada de los diferentes sistemas que se han mencionado.

2.3 MARCO LEGAL O NORMATIVO

En la presentación de este trabajo se emplearán los documentos referentes a la instalación de equipos de aviónica y su implementación requerida por la norma de aeronavegabilidad publicada por la aeronáutica civil basados en los reglamentos colombianas (RAC), los cuales son extraídos de los reglamentos de la organización de aviación civil internacional (OACI) los cuales rigen a nivel mundial la aviación.

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Empírico – analítico, porque el interés del proyecto es implementar los nuevos sistemas tecnológicos, lo cual está orientado a la transformación de un sistema para adaptar otro.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA.

Tecnologías actuales y sociedades/ instrumentación y control de procesos/ aviónica.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se utilizaron asesorías de ingenieros, técnicos y talleres reparadores con experiencia en el campo de las comunicaciones en Colombia y a nivel mundial; se utilizo documentación que respalda los principales conceptos necesarios para el entendimiento de los diferentes sistemas de comunicación, navegación y vigilancia como documentación de la (FAA), Federal Aviation Administration, (OACI) Inetrnational Civil Aviation Organization.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población involucrada en este estudio la conforma las empresas de aviación civil comercial y la autoridad de aviación civil en este caso la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.

3.5 HIPÓTESIS

Es necesaria la implementación de sistemas de navegación, comunicación y vigilancia utilizando ADS, GNSS, Y VDL en Colombia. El ADS es el sistema de vigilancia más confiable que existe en la actualidad a nivel mundial en el caso de Colombia se reemplazarían los radares por este sistema, el VDL MODO 4 es un sistema de comunicación empleado para satisfacer las necesidades de los operadores tanto en costos como disponibilidad, la navegación por medio de GNSS permite tener una confiabilidad operacional al 100% ayuda a tener un conocimiento preciso y continuo de la posición de la aeronave, se pueden implementar rutas más cortas permite que se cargue menos combustible y más pasajeros.

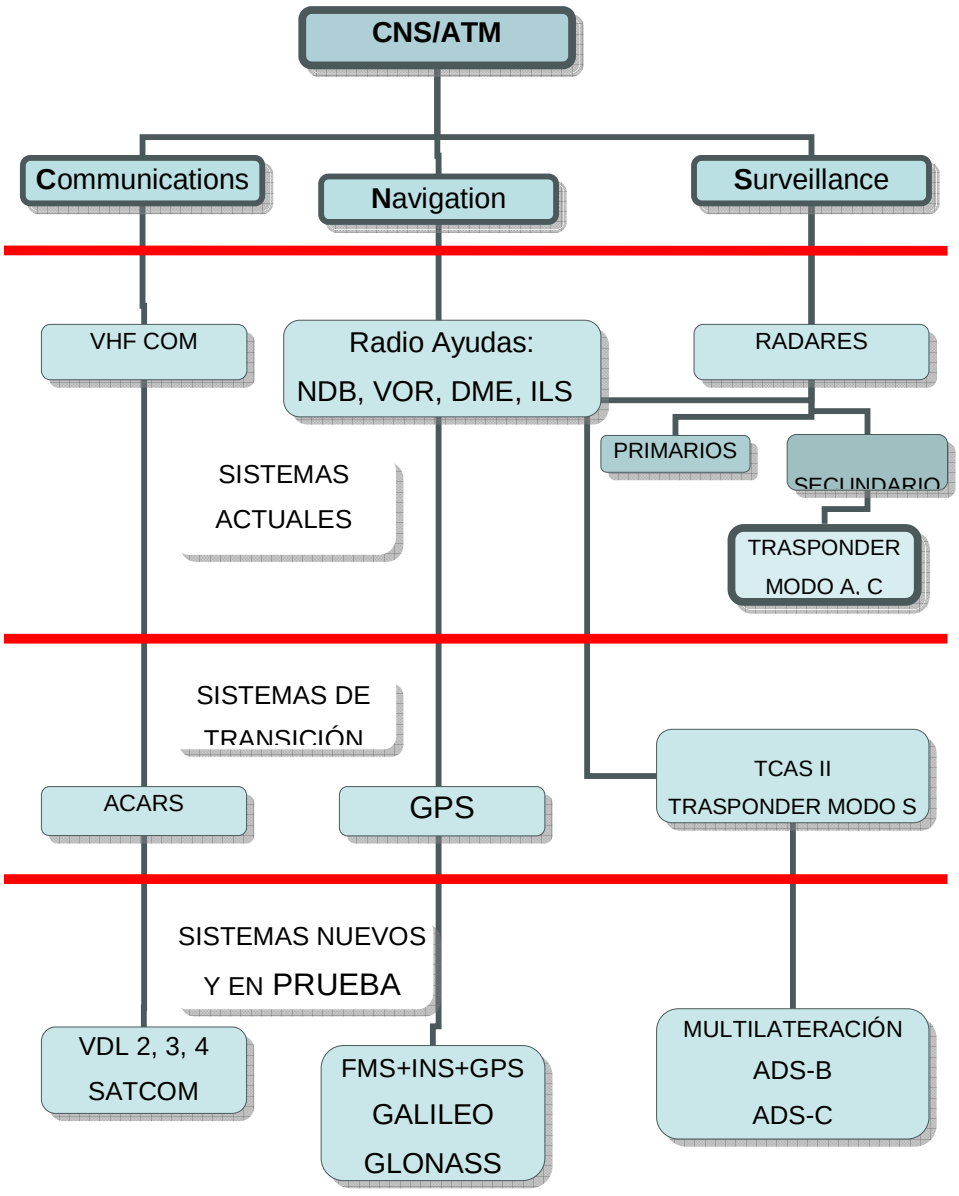
3.6 VARIABLES

3.6.1 Variables Independientes Las aerolíneas y los entes reguladores, que puedan involucrarse en la aplicación de la tecnología VDL para comunicación, GNSS para navegación y ADS para vigilancia.

3.6.2 Variables Dependientes mejoría de la comunicación tierra – aeronave, mayor control de tráfico aéreo, mayor control de las aeronaves en todas las fases del vuelo y seguridad aérea en general.

4. DESARROLLO INGENIERIL

Figura 11. Desarrollo de las etapas del proyecto



El objetivo general de este proyecto es el análisis de las diferentes tecnologías en Comunicaciones (HFDL, VDL y AMSS), navegación (GPS, GLONASS y GALILEO) y vigilancia (ADS) y determinar cuál o cuáles de estas se pueden implementar en Colombia, para tal propósito se desarrollo una extensa investigación de los diferentes sistemas de comunicación navegación y vigilancia. Para así determinar lo más viable en Colombia.

4.1 SISTEMAS DE TRANSICIÓN EN COMUNICACIÓN

4.1.1 ACARS Es el acrónimo de Aircraft Communications Addressing and Reporting System, es un sistema de direccionamiento de datos digitales, el cual permite intercambiar datos o mensajes entre la aeronave y la base central de operaciones en tierra, utilizando a bordo el sistema de Comunicaciones VHF-3.

El subsistema a bordo del ACARS suministra de forma manual entrada a los datos de las rutas así como información de los terminales de llegada y salida de la aeronave.

El sistema a bordo consiste en una unidad de administración por sus siglas en ingles (MU management unit) en la bahía eléctrica y electrónica, y de una unidad de display interactivo (Interactive Display Unit IDU). Los datos son ingresados de forma automática o manual y trasmitidos a la base central en tierra, el sistema también suministra monitoreo del aeronave, en fases de vuelo denominadas out/off/on/in o conocido también como (OOOI) por medio de sensores, estos datos

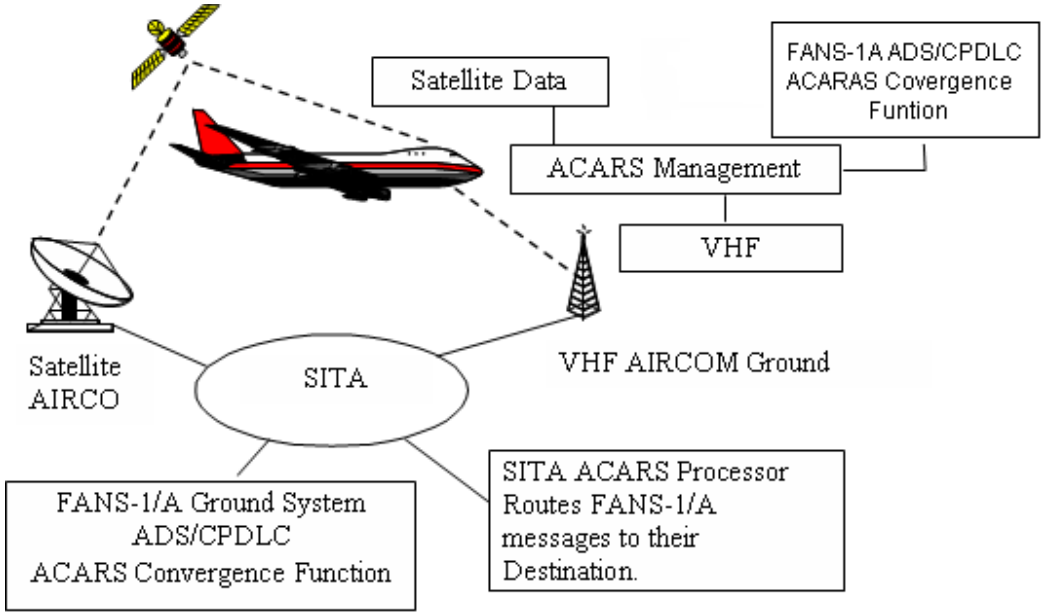
Son trasmitidos a la estación en tierra en momentos específicos para incorporarlos al programa como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Transmisión de información en las fases de vuelo.

Out	**Off**	**On**	**In**
Es el momento en que la aeronave está dejando el Gate o en curso de taxeo.	Cuando la aeronave está despejando	Cuando la aeronave está aterrizando	cuando la aeronave se está dirigiendo al Gate de llegada
De la aeronave transmite: prueba de conexión, actualización del reloj, información de combustible, información de la tripulación, reporte de demora.			**De la aeronave transmite:** información de combustible, información de tripulación, información de fallas desde la computadora de mantenimiento.
De la estación en tierra trasmite: PDC, ATIS, peso y balance, análisis de aeropuerto, V-speeds, plan de vuelo FMC,			

Fuente: ACARS SYSTEM NOV 01/89. 14 P

Figura 12. Modo de transmisión del sistema ACARS



Fuente: Seminario implementación CNS/ATM Bogotá, Colombia 10-14 septiembre 2001.

El VHF-3 también puede ser usado para la transmisión de voz, en el modo de operación por voz del ACARS.

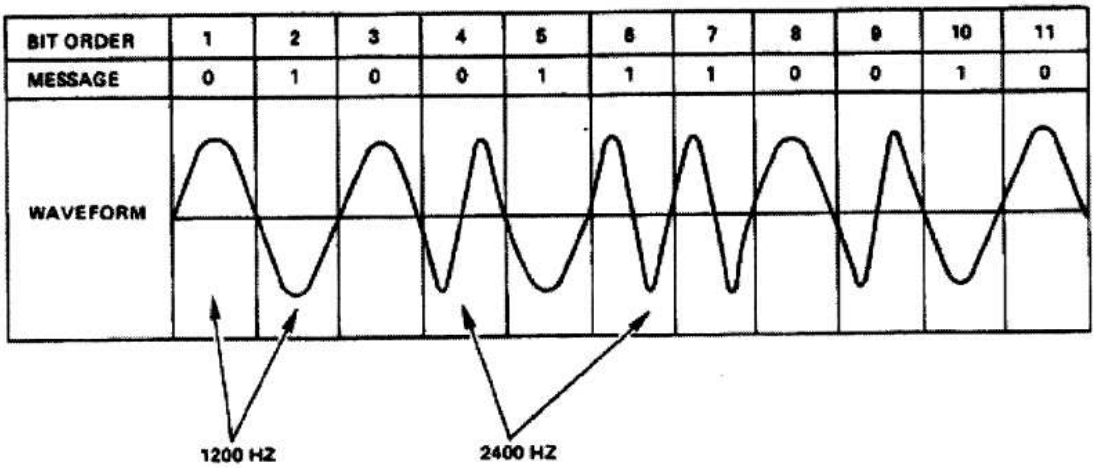
Las Comunicaciones por voz pueden simplificar el uso del ACARS, la tripulación también puede enviar mensajes solicitando hablar con personal en tierra, por este medio el personal en tierra solo tendrán que indicarle a la tripulación que frecuencia deberán sintonizar para hablar con el personal en tierra.

Cuando el ACARS no está transmitiendo mensajes o no está en modo de voz, está monitoreando datos a través de la frecuencia del transceptor VHF-3 de los mensajes que envían desde tierra, el sistema reorganiza los mensajes, planea y decide que mensajes debe mostrar y cuales son para la aeronave. Cada mensaje tiene 7 caracteres los cuales designan una aeronave en particular que puede identificarse por el numero de matricula o el numero del vuelo. El número de identificación de la aeronave está configurado en el MU. El número del vuelo es

ingresado manualmente por la tripulación antes de cada vuelo. ACARS solo procesara los mensajes que tengan el correcto número de registro o el número de vuelo.

- Codificación de los datos en ACARS. El intercambio de datos entre la MU de ACARS y el transceptor de VHF-3 esta codificada por tonos de 1200 y 2400 HZ como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Codificación de datos de ACARS



Fuente: Manual ACARS. S.P.I 15 P. (Fotoc).

La señal transmitida por el MU de ACARS al VHF-3 modula la señal de radio de VHF enviándola a tierra. Contrariamente, la señal transmitida por el VHF-3 al MU de ACARS es obtenida después de la demodulación de la señal de radio de la estación en tierra.

El resultado de esta codificación es que la tasa de transmisión es 2400 bits por segundo de aeronave a terreno y viceversa.

El intercambio de datos entre la MU de ACARS y el transceptor de VHF-3 esta codificada por tonos de 1200 y 2400 HZ como se muestra en la figura 13.

Los mensajes transmitidos y recibidos por el MU de ACARS son organizados en grupos de bloques. Cada bloque termina con un ETB (bloque de fin de transmisión) a menos que sea el final de un mensaje y en tal caso el bloque termina con un ETX (fin de texto). Cada bloque está estructurado de la siguiente manera:

- Pre -llave (16 caracteres). Dieciséis caracteres todos unos (1) binarios son transmitidos antes de cada bloque para permitir que el trasmisor estabilice su energía de salida y el destinatario decida sus circuitos de ganancia automáticos.

- La sincronización de bits (2 caracteres) Uno "+" seguido por un * es transmitido con el propósito de que la unidad de procesamiento receptora pueda resolver cualquier ambigüedad de bits.

- La sincronización de Caracteres (2 caracteres). Dos caracteres de "SYN" consecutivos son transmitidos con el propósito que el procesador receptor pueda determinar dónde comienza y termina cada carácter.

- El inicio de rumbo, SOH (1 carácter). El carácter de "SOH" es transmitido para mostrar que es el inicio de un encabezamiento de mensaje. Este también avisa que el MU empieza una secuencia de chequeo de bloque (BCS) con el próximo carácter. El BCS es una rutina de comprobación de errores.

- El modo (1 carácter) El carácter de modo será uno "2" en todas áreas que no tienen cobertura de Categoría B. En áreas que tienen cobertura de Categoría B, el

carácter de modo demostrará la dirección de sitio de suelo con la que el MU que se está comunicando.

- Dirección (7 carácter) una dirección de siete caracteres identifica el avión con el que el centro de tierra se está comunicando, o el avión que envió el mensaje.

El transceptor VHF-3 del MU codifica los datos digitales para transmitirlos como una serie (los tonos 1200 Hz y 2400 Hz en 2400 baudio (en el futuro el sistema de ACARS podría funcionar con 2400/4800 hertz en 4800 baudio). Un sonido 1200 Hz demuestra un cambio menor de bit del bit previo (0 para 1 o 1 a 0) mientras un sonido 2400 Hz no demuestra cambio menor de bit (0 para 0 o 1 a 1).

- ***¿Cómo recibe señales ACARS?*** Para recibir la señal el sistema ACARS necesita un receptor, que pueda sintonizar Banda Aérea, de 118 a 136 MHz, en AM. La frecuencia principal en Europa es 131.725 MHz al contrario de lo que se cree, no necesita estar cerca de un aeropuerto para recibir las señales, ya que también son las aeronaves que transmiten señales.

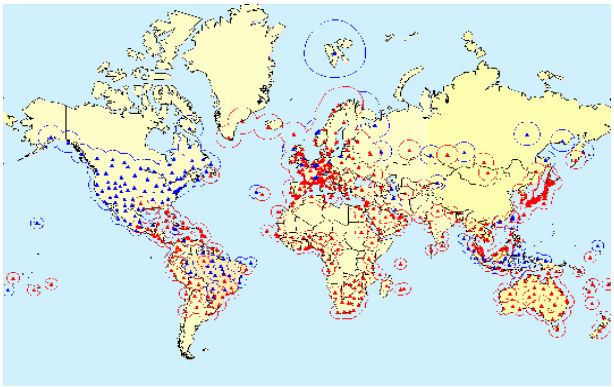
La ubicación de las estaciones en tierra en España y su frecuencia así como la identificación de la estación se puede ver en la Tabla 5.

Tabla 5. Ubicación de las estaciones en Europa

Ubicación	Nombre Estación	Lat.	Lon	Frecuencia
Málaga	AGP	36.40 N	4.30 O	131.725
Barcelona	BCN1	41.18 N	2.04 E	131.725
Barcelona	BCN3	41.18 N	2.04 E	131.525
Bilbao	BIO	43.18 N	2.56 O	131.725
Granada	GRX	37.11 N	3.47 O	131.725
Las Palmas	LPA	27.56 N	15.23 O	131.725
Madrid	MAD1	40.25 N	3.34 O	131.725
Madrid	MAD3	30.25 N	3.34 O	131.525
Madrid	MAD5	40.25 N	3.34 O	136.900
Palma Mallorca	PMI	39.33 N	2.44 E	131.725
Sevilla	SVQ	37.25 N	5.54 O	131.725
Valencia	VLC	39.29 N	0.29 O	131.725

Fuente: ACARS. [Articulo en internet] http://www.arrakis.es/~dcc1/Digital/acars.htm [consulta: 18 mayo 2008]

Figura 14. Cobertura VHF AIRCOM



Fuente: [11]

[11] Seminario implementación CNS/ATM Bogotá, Op.cit.

4.2 SISTEMAS DE TRANSICIÓN EN NAVEGACIÓN

4.2.1 Sistema de posicionamiento global (GPS) Las siglas GPS corresponden a Global Positioning System, que se puede traducir como sistema mundial de determinación de la posición por medio de navegación basado en 24 satélites, que proporcionan posiciones en tres dimensiones, velocidad y tiempo, las 24 horas del día, en cualquier parte del mundo y en todas las condiciones climáticas. Es un sistema de medición en un solo sentido de la distancia al usuario, basado en la alta estabilidad de la frecuencia del oscilador en el transmisor situado en el satélite.

La fiabilidad de la precisión que ofrece este sistema está teniendo un efecto en la Navegación Aérea como jamás ha tenido ninguna otra ayuda a la navegación. Originalmente, fue concebido, como casi todas las ayudas a la navegación, con fines exclusivamente militares. Actualmente, su libre uso está autorizado.

El GPS fue desarrollado a partir de 1973 por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, siendo lanzado el primer satélite el 22 de febrero de 1978, y consiguiéndose la puesta en órbita de los 24 satélites inicialmente previstos (21 satélites operativos y tres en reserva) el 26 de junio de 1993 (Capacidad Inicial Operativa, IOC, el 8 de diciembre de 1993), para posteriormente conseguir la capacidad total de operación (FOC, Full Operation Capability) el 17 de julio de 1995 (ver figura 16). La administración Federal de Aviación (FAA) declaró operacional al sistema GPS para determinadas aplicaciones civiles según las reglas del vuelo instrumental (IFR).

La base de datos del GPS contiene información acerca de los aeropuertos, VORs, NDBs, las intersecciones, DP/STARs, los marcadores exteriores, los caminos, los ríos, los ferrocarriles, los lagos, etc., a lo largo del área de la base de datos. Se

guardan Waypoints en la base de datos por sus identificadores de ICAO. Los identificadores de ICAO se toman en la mayoría de los casos directamente de los mapas aeronáuticos gubernamentales.

La información guardada en la base de datos queda fuera de fecha; por consiguiente, para colocar al día la información, la base de datos se aloja en una tarjeta de datos en el frente del GPS. Se diseña para que el usuario pueda quitar la base de datos vieja fácilmente y puede instalar una base de datos actual.

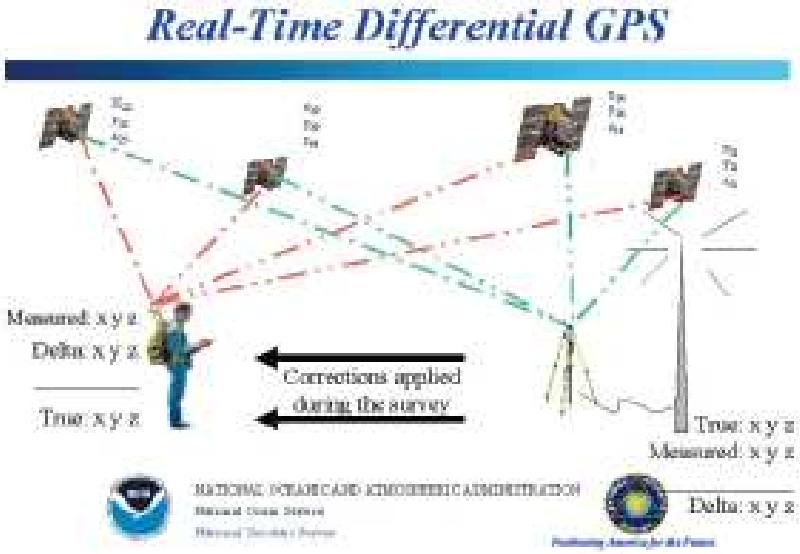
Figura 15. Situación de las estaciones monitoras y de la estación de control maestra



Fuente: A. Pozo-Ruiz, A. Ribeiro, MC García Alegre, L. García, D. Guinea, F. Sandoval. Sistema de posicionamiento global. Madrid. U.P.T., 8P

Los criterios de la JAA son coherentes con los criterios de utilización del sistema GPS autorizados por la FAA, aunque las diferencias entre los espacios aéreos estadounidense y europeo justifican la existencia de **discrepancias** en su aplicación.

Figura 16. Tiempo real diferencial del GPS



Fuente: Revista Mach 82 de iberia, Sistemas de Navegación por Satélite.

Dado que el sistema GPS no proporciona los niveles de continuidad, disponibilidad, e integridad necesarios para autorizar su uso como Medio Único de Navegación, en la actualidad estas limitaciones restringen la utilización del mismo a su uso como **Medio Suplementario de Navegación**, según las reglas de vuelo instrumental IFR y como Medio Primario de Navegación para Operaciones en Aéreas Oceánicas/Remotas y Rutas RNAV, que por ejemplo en el caso de España sirve para enlazar la Península Ibérica y el archipiélago canario, esperándose otras autorizaciones en un futuro próximo.

Debido a las características de diseño y funcionamiento del Segmento de Control del sistema GPS, puede transcurrir un tiempo excesivo para trasladar a los usuarios la advertencia de un funcionamiento anormal en algún satélite. Sin embargo, la tecnología actual ofrece diversas posibilidades para proporcionar una integridad mejorada de la señal GPS, de tal modo que se alcance un valor equivalente a la ofrecida por las ayudas a la navegación convencionales.

Los niveles de integridad exigidos pueden ser obtenidos mediante el empleo de tecnología a bordo, como la ofrecida por los equipos dotados de la función denominada Receptor con Supervisión Autónoma de Integridad (**RAIM**, Receiver Autonomous Integrity Monitoring), o por un sistema integrado que emplee otros sensores de navegación en combinación con el GPS.

Son necesarios un mínimo de cinco satélites visibles en cuanto a cobertura para poder disponer de la función RAIM. En 1994, la FAA estableció un conjunto de requisitos adicionales para permitir la utilización del GPS como medio primario de navegación en áreas oceánicas o remotas. Uno de estos requisitos, denominado Función de **Detección de Fallos y Exclusión** (FDE), combina la utilización del RAIM para detectar fallos en la señal de un satélite, con la capacidad para identificarlo y excluirlo de los cálculos de la solución de navegación. Para disponer de la función FDE, debe contarse con un satélite adicional a los necesarios para utilizar técnicas RAIM.

El sistema GPS que funciona en la banda de 1 559 a 1 585 MHz, este sistema de satélites de navegación de órbita mundial (GLONASS) que funciona en la banda de 1 598 a 1 610 MHz, (1 597 a 1 605 MHz después del año 2005) en la banda de 1 525 a 1 559 MHz de recepción del SMAS, y la banda VHF de 108 a 137 MHz deberían verificarse los niveles de productos de intermodulación en la banda de 1.598 a 1 609,26 MHz cuando se proyecte en la misma aeronave el funcionamiento en esta banda del receptor de navegación por satélite. Puede ser necesario a bordo de la misma aeronave la gestión de frecuencias, un filtrado adicional o una mayor separación entre antenas (para un aislamiento superior a 40 dB) si existe la posibilidad de interferencia en el equipo de navegación.
Cada satélite GPS emite un mensaje de navegación a 50 bps que proporciona el tiempo, un almanac y un ephemeris. El almanac consiste de información no precisa de la órbita y el estado para cada satélite de la constelación. Una

transmisión completa del almanac dura 12.5 minutos y es responsable de la larga entrada en funcionamiento cuando se conecta un nuevo receptor. El ephemeris da la órbita precisa del satélite y se transmite cada 30 segundos. El almanac ayuda en la localización de otros satélites mientras que el ephemeris es necesario para calcular la posición con la información del mismo satélite. El ephemeris se actualiza cada 2 horas y es válido por 4 horas.

Cada satélite transmite su mensaje de navegación como mínimo con dos señales distintas: la señal C/A (Coarse / Acquisition), que es pública y la señal P (Precise) que se reserva normalmente para aplicaciones militares. El código C/A es una señal pseudo-aleatoria (PRN) a una velocidad de transmisión de 1,023 Mbps que se repite cada milisegundo. Cada satélite tiene su propio código C/A de tal modo que sirve para identificarlo. El código P es una señal PRN de 10,23 Mbps que cambia cada semana. Con el modo “anti spoofinng” está conectado el código P se en cripta para formar el código P (Y), con el que se hace necesaria una clave.

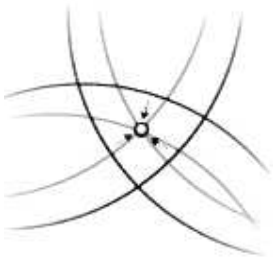
Para calcular una posición el receptor necesita una medida precisa del tiempo. Cada satélite dispone de un reloj atómico mientras que los receptores disponen de un reloj de cristal de cuarzo que se refresca continuamente con las medidas de los satélites. El receptor idéntica la señal de cada satélite gracias a su secuencia C/A y luego mide el retraso para cada satélite. Para conseguirlo el receptor genera una clave C/A idéntica usando la misma semilla[12]. Alineando

[12] Es imposible generar números aleatorios mediante un sistema determinista como el de un ordenador. La mayoría de los pcs disponen de un dispositivo de generación de números pseudoaleatorios que son estadísticamente casi aleatorios. Los algoritmos de generación de números aleatorios necesitan una semilla, un número entero lo más largo posible que suele obtenerse de un dispositivo de entrada también pseudoaleatoria como alguna entrada de Terminal. Si bien los números pseudoaleatorios lo son a la práctica su secuencia puede extraerse con cierta facilidad conociendo la semilla de los mismos. Un concepto parecido se emplea en la encriptación mediante pares de claves.

La información relativa a las interrupciones de servicio programadas y al estado operativo de los satélites se distribuye a los usuarios desde la Estación Maestra de Control, mediante los denominados Notice Advisor's to NAVSTAR Users (NANU´s). La única información oficial respecto al estado de la constelación GPS es aquella contenida y publicada en los NOTAM.

- **Funcionamiento.** Las dos señales el receptor puede medir el retraso y calcular la distancia al satélite llamada pseudo-amplitud.

Figura 17. Esquema de la superposición de pseudo-amplitudes para obtener la posición respecto a la constelación de satélites



Fuente: AVIÓNICA (SNA), Guillem Borrell i Nogueras et al, 29 de septiembre de 2007.

La posición precisa del satélite se obtiene de los datos de su órbita contenidos en el mensaje de navegación. Conociendo la posición del satélite y la distancia al mismo se sabe que está contenido en la superficie de una esfera imaginaria cuyo centro es el satélite. Conociendo los datos de cuatro satélites se llega a la posición del objetivo; si el objetivo está al nivel del mar puede sustituirse una de las esferas por el elipsoide terrestre. En muchos de los casos las esferas no se encontrarán en un punto, entonces el receptor debe ser capaz de dar una posición de máxima probabilidad.

En la tabla 6 se comprueba la diferencia en exactitud que tiene los satélites de uso militar y los de uso civil en cuanto a exactitud y uso.

Tabla 6. Datos de posición de los satélites

	C/A (ESTÁNDAR)	**P (MILITAR)**
Cadencia	1.023 Mbits/s	10.23 Mbits/s
Revolución	30 Mts	3 Mts
Ambigüedad	300 Mts	No existe
Servicio de posición	SPS	PPS
Disponibilidad	Selectiva	Encriptación por activación de A-C
Acceso	Facilitación	Solo usuarios autorizados

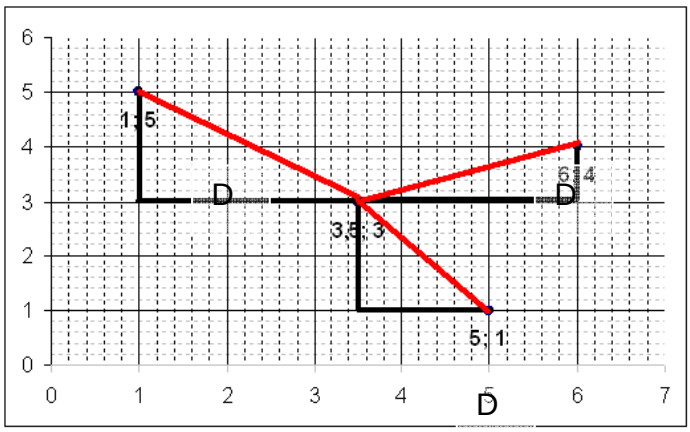
- **Calculo del error.** Los dispositivos de medición como el GPS, que está compuesto por dispositivos muy precisos, tienen un margen de error en la medición, esto se da debido a que los relojes atómicos que están en el interior de los satélites son demasiado costosos para colocarlos en los dispositivos en tierra, por esto se utilizan relojes de cuarzo que tienen un error un poco mayor que el de los relojes atómicos pero aun siguen siendo efectivos en la medición.

Ya que los dispositivos en tierra al iniciarse o encenderse se actualizan con la hora que tengan los satélites esto evita que el error sea mayor, por otra parte, el dispositivo en tierra calcula el error que el mismo dispositivo sabe que es constante y los re-calcular dando una medida los más exacta posible. Esto se puede representar en el siguiente ejercicio.

El principio de funcionamiento del GPS es la medida de las distancias en las 3 dimensiones, pero se pude llevarlo al cálculo de 2D.

Los puntos P_1, P_2, P_3 representan los satélites de los cuales se sabe su posición exacta, con estos tres satélites se va a encontrar la posición de P_0 en las coordenadas X_0 e Y_0.

Figura 18. Análisis para el cálculo de error en el GPS



Para calcular las distancias que tiene el punto P_0 se plantean las siguientes ecuaciones.

$$(D_1 - e)^2 = (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2$$
$$(D_2 - e)^2 = (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 \quad (1)$$
$$(D_3 - e)^2 = (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2$$

Para encontrar las distancias D_1, D_2, D_3 se calcula por medio de Pitágoras sabiendo que los puntos son:

P_1 (1,5), P_2 (5,1), P_3 (6,4).

Así las distancias serán D1= 3.6, D2= 2.24, D=2.24.

De (1) se remplazan los valores de X e Y así como las distancias, se resta un error que va a ser constante que será e=0.5conocidas, así se tiene.

$$(D_1 - 0.5)^2 = (1 - x_0)^2 + (5 - y_0)^2$$
$$(D_2 - 0.5)^2 = (5 - x_0)^2 + (1 - y_0)^2$$
$$(D_3 - 0.5)^2 = (6 - x_0)^2 + (4 - y_0)^2$$

Luego de esto se tiene que resolver los cuadrados, quedando de la siguiente forma.

$$9.61 = x_0^2 - 2x_0 + 1 + y_0^2 - 10y_0 + 25 \qquad \text{Ecu 1}$$
$$3.03 = x_0^2 - 10x_0 + 25 + y_0^2 - 2y_0 + 1 \qquad \text{Ecu 2}$$
$$3.03 = x_0^2 - 12x_0 + 36 + y_0^2 - 8y_0 + 16 \qquad \text{Ecu 3}$$

Reduciendo términos semejantes las ecuaciones anteriores e igualando las ecuaciones 1 y dos y despejando X para remplazar más adelante queda.

$$x_0^2 - 2x_0 + 1 + y_0^2 - 10y_0 + 25 + 16.39 = x_0^2 - 10x_0 + y_0^2 - 2y_0 + 22.97$$

Despejando X: $x_0 = y + \frac{329}{400}$ y remplazando X en la Ecu 3 se tiene.

$$(y + \frac{329}{400})^2 - 12(y + \frac{329}{400}) + y_0^2 - 8y_0 = 48.97$$

Para la solución de esta ecuación se debe resolver también los cuadrados y resolver para X. La solución de esta ecuación da dos raíces, se toma la solución positiva ya que el punto que se busca no tiene posición negativa.

$$(y + \frac{329}{400})^2 - 12(y + \frac{329}{400}) + y_0^2 - 8y_0 = 48.97;$$
$$y_0 = \frac{3671 - \sqrt{32088559}}{800} \Rightarrow \quad y \approx 2.5 + e = 3$$

Como ya se conoce el valor de y se remplaza en la Ecu 1 para hallar el valor de x.

$$2x_0 - x_0^{\,2} = (3)^2 - 10(3) + 16.39 \;\Rightarrow\; 2x - x^2 = -4.61$$

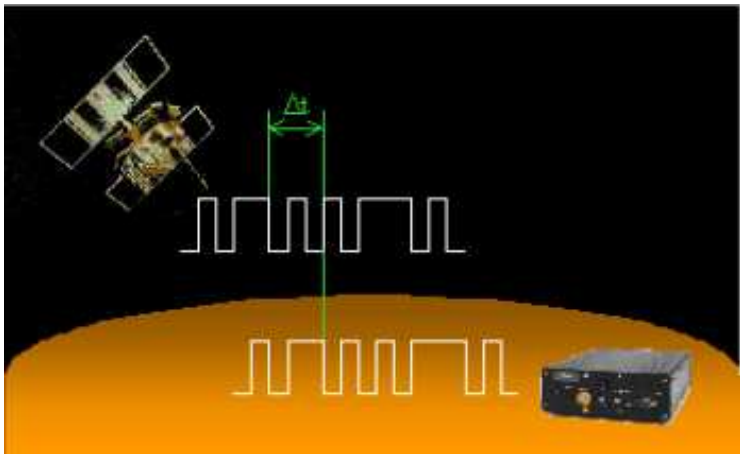
$$x = \frac{\sqrt{561}}{10} + 1 \;\Rightarrow\; x = 3.3 + e \Rightarrow x = 3,5$$

Así se encuentra los puntos x_0=3,5 y y_0=3 el error fue sumado al final ya que no se sumo en el momento de la medida en la grafica ni en los cálculos de Pitágoras.

Las distancias con errores debidos al sincronismo se denominan *pseudodistancias*. La desviación en los relojes de los receptores añade una incógnita más que hace necesario un mínimo de cuatro satélites para estimar correctamente las posiciones.

En el cálculo de las *pseudodistancias* hay que tener en cuenta que las señales GPS son muy débiles y se hallan inmersas en el ruido de fondo inherente al planeta en la banda de radio. Este ruido natural está formado por una serie de pulsos aleatorios, lo que motiva la generación de un código pseudo-aleatorio artificial por los receptores GPS como patrón de fluctuaciones. En cada instante un satélite transmite una señal con el mismo patrón que la serie pseudo-aleatoria generada por el receptor. En base a esta sincronización, el receptor calcula la distancia realizando un desplazamiento temporal de su código pseudo-aleatorio hasta lograr la coincidencia con el código recibido; este desplazamiento corresponde al tiempo de vuelo de la señal. Este proceso se realiza de forma automática, continua e instantánea en cada receptor.

Figura 19. Medida de la distancia a los satélites



Fuente:: A. Pozo-Ruz, A. Ribeiro, M.C. García Alegre, L. García, D. Guinea, F. Sandoval. Sistema de posicionamiento global. Madrid. U.P.T., 9P

La utilización de estos códigos pseudo-aleatorios permite el control de acceso al sistema de satélites, de forma que en situaciones conflictivas se podría cambiar el código, obligando a todos los satélites a utilizar una banda de frecuencia única sin interferencias pues cada satélite posee un código GPS propio.

Aunque la velocidad de los satélites es elevada (4 Km./s), la posición instantánea de los mismos puede estimarse con un error inferior a varios metros en base a una predicción sobre las posiciones anteriores en un período de 24 a 48 horas. Las estaciones terrestres revisan periódicamente los relojes atómicos de los satélites, dos de cesio y dos de rubidio, enviando las efemérides1 y las correcciones de los relojes, ya que la precisión de los relojes y la estabilidad de la trayectoria de los satélites son claves en el funcionamiento del sistema GPS.

Descripción del sistema El sistema GPS está constituido por **tres segmentos operativos** bien diferenciados:

- Segmento Espacial.
- Segmento de Control.
- Segmento Usuario.

A- Segmento Espacial: comprende la constelación NAVSTAR, que en completa operatividad está formada por 24 satélites de generaciones diferentes denominados Bloque I (actualmente no hay ninguno operativo), II, II A, II R y en el futuro II F, aunque eventualmente el sistema puede contener un número mayor con el fin de aumentar su capacidad de trabajo y cuyas características principales son:

• Planos orbitales inclinados 55° respecto del plan o ecuatorial de la Tierra (se están haciendo estudios para situar a los futuros satélites del GPS en 60° de inclinación respecto al plano orbital, pues una mayor inclinación proporciona mayor exactitud de forma muy significativa).

• Altitud: 10.898 NM (20.183 km).

• Período orbital: 11 horas 56 minutos/órbita.

• Cada satélite completa dos órbitas casi circulares por cada vuelta completa de la Tierra, que no coincide con el día solar medio, produciéndose como resultado que el satélite aparezca cada día en la misma posición con un adelanto sobre el día anterior de aproximadamente cuatro minutos

.

• Lapso de vida planificado: 7,5 años, aunque algunos han excedido este tiempo y continúan orbitando.

• Distribución: los satélites para el GPS operan en seis planos orbitales, con cuatro satélites en cada órbita. Dichas órbitas están separadas entre sí por un ángulo de 60°. Esta configuración asegura que sobre el horizo nte de cualquier lugar de la Tierra sean visibles simultáneamente entre seis y ocho satélites, por lo que tal constelación permitirá la **continuidad de la observación** durante las 24 horas del día, en cualquier parte del mundo e independientemente de las condiciones meteorológicas.

La precisión del GPS está basada en la calidad de los relojes (osciladores) de muy alta estabilidad instalados a bordo de los satélites, lo que convierte al GPS en una escala de tiempo sumamente exacta y accesible.

Aunque solamente sería necesaria una frecuencia de transmisión, por los motivos que se verán más adelante, todos los satélites emiten impulsos de radio en dos frecuencias de la banda L, múltiplos de la frecuencia de oscilación atómica que es 10,23 MHz Dichas frecuencias son la L1=1.575,42 MHz (=10,23 x 154) y la L2=1.227,60 MHz (=10,23 x 120). Está prevista la incorporación de dos nuevas frecuencias de uso también civil aún no definidas, y posteriormente una tercera frecuencia designada como L5=1.176,45 MHz La **transmisión** se efectúa haciendo uso de una técnica especial de **modulación** denominada **bi-fase**, lo que permite que los satélites puedan emitir simultáneamente las mismas frecuencias sin distorsión entre las señales.

La señal L1 está modulada con dos códigos cuyas fases están en cuadratura, denominados código de Precisión (P) y código de Adquisición Aproximada (C/A, Coarse Acquisition). La señal L2 está modulada solamente con el código P, pero para aplicaciones especiales pueden cambiarse al código C/A, aunque según el Plan de Modernización del GPS, está previsto que emita de forma continua

también con dicho código. Estos códigos se verán posteriormente. Ambas señales (L1 y L2) son portadoras de datos para la navegación.

El propósito de los códigos C/A y P es el de identificar el satélite del que se está recibiendo información y realizar los cálculos iníciales de distancia a partir de los cuales se obtiene la distancia final entre el satélite y el usuario.

B- Segmento de Control: está constituido por cuatro antenas terrestres (GA, Ground Antenna) y cinco estaciones monitoras (MS, Monitor Stations), emplazadas en Hawai, Kwajalein, Ascensión, Diego García y Colorado Springs; existe una sexta estación en Cabo Cañaveral, Florida (PCS, Prelaunch Compatibility Station), que se utiliza como estación para comprobación de los satélites previamente a su lanzamiento, pero también se usa como estación de reserva en caso de fallo en algunas de las antenas de las estaciones anteriores. La estación principal (Master Control Station) está ubicada en la Base Aérea de Falcon en Schriever, Colorado Springs (EEUU) y en el caso de que esta estación es té fuera de servicio, está prevista la operación con una estación master de reserva (CS) desde Gaithersburg, MD.

Las estaciones monitoras realizan un seguimiento permanente de la constelación NAVSTAR/GPS, transmitiendo los datos recogidos de los mensajes de los satélites al Consolidated Space Operations Center, en la estación principal, donde con estas observaciones y las efemérides de referencia se calculan las efemérides de cada satélite para un período posterior (se realizan más de setenta diagnósticos diarios). A su vez, esta información se retransmite tres veces al día desde la estación principal al receptor colocado en un extremo de cada satélite.

C- Segmento Usuario: este segmento queda constituido por **todos los equipos** utilizados para la **recepción** de las señales emitidas por los satélites y que se

emplean para el posicionamiento (estático o cinemático) o para la precisa determinación de tiempo, y que tiene múltiples aplicaciones en tan diversos campos como: navegación aérea y marítima, guiado de misiles, cartografía, mineralogía, salvamento, montañismo, localización de vehículos, y otros servicios sociales.

Los primeros receptores GPS fueron de diseño analógico, habiendo sido hoy en día reemplazados por los digitales, que proporcionan diseños más simples, compactos y costos de producción y mantenimiento más reducidos. El receptor contiene los elementos físicos y lógicos necesarios para el control, seguimiento, registro, almacenamiento, visualización, proceso de datos, etc. y un oscilador muy estable de cuarzo, si bien tal estabilidad, fijada en el orden de un nanosegundo, es muy inferior a la del oscilador instalado en los satélites. Básicamente, todos los receptores están integrados por los siguientes componentes:

1) La antena y su electrónica asociada.

2) Los circuitos de seguimiento o tracking loops.

3) El procesador de navegación.

4) La unidad de energía, normalmente batería de níquel-cadmio o energía exterior.

5) El teclado de control y la pantalla de presentación de datos.

Para poder tener una idea más completa del receptor, se presenta a continuación una breve exposición de estos componentes:

La antena del receptor está especialmente diseñada para captar con la máxima eficiencia las ondas polarizadas L1 y L2 que emiten los satélites y convertir dichas señales en corriente eléctrica, conteniendo todavía los C/A y P-codes, así como la corriente de datos o Nav-msg (mensaje de navegación) modulados en ellas. Estas señales, una vez captadas por la antena, pasan a través de un potente circuito de amplificación para que la tenue señal que pueda llegar sea debidamente procesada por los diferentes circuitos del receptor, dicha señal, una vez amplificada, pasa a los tracking loops o circuitos de seguimiento.

Hay dos funciones diferentes que se realizan dentro de los circuitos de seguimiento, que reciben las señales para su procesamiento, y son:

• El Code Tracking Loop, que se encarga de trabajar con los impulsos de los códigos C/A y P-code para obtener el tiempo que invierte la señal en su viaje desde el satélite a la antena del receptor.

• El Carrier Phase Tracking Loop, que calcula la variación instantánea de la frecuencia con la que llegan las ondas a la antena; dicha variación es debida a las velocidades relativas entre satélites y receptor, conocida como efecto Doppler.

Figura 20. GPS KLN 90



Fuente: Taller de reparaciones Aviónica general de Colombia

El procesador de navegación, una vez que ha obtenido los datos de los circuitos de seguimiento anteriormente expuestos, es el encargado de elaborar las soluciones a la posición y velocidad, de la transformación de coordenadas, así como del uso de los filtros de Kalman que reducen los errores troposféricos e ionosféricas producidos por las deformaciones que experimentan las señales a lo largo de su recorrido por el espacio. Este procesador tiene una memoria que retiene la última posición del receptor antes de ser apagado, juntamente con el almanaque de los satélites; dicha memoria, una vez que se vuelve a encender el equipo, sirve para acortar el tiempo de obtención de la primera posición y para la selección de los satélites con mejor geometría.

Existen numerosos tipos de receptores, que han ido evolucionando a lo largo de estos años: receptores de secuencia lenta, de secuencia rápida o múltiplex, de seguimiento continuo o multicanal, analógicos, digitales, receptores con técnicas diferenciales para tener una mayor precisión de datos, etc., cada uno de ellos con sus características según las necesidades del usuario.

Para que la señal recibida o enviada sea claramente enviada existen varios tipos de aumentadores como son:

Sistema de aumentación basado en la aeronave (ABAS). Sistema de aumentación por el que la información obtenida a partir de otros elementos del GNSS se añade o integra a la información disponible a bordo de la aeronave.

Sistema de aumentación basado en satélites (SBAS). Sistema de aumentación de amplia cobertura por el cual el usuario recibe información de aumentación transmitida por satélite.

Sistema de aumentación basado en tierra (GBAS). Sistema de aumentación por el cual el usuario recibe la información para aumentación directamente de un transmisor de base terrestre.

Sistema regional de aumentación basado en tierra (GRAS). Sistema de aumentación por el cual el usuario recibe la información para aumentación directamente de un transmisor que forma parte de un grupo de transmisores de base terrestre que cubren una región.

4.2.2 Sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) tiene como función proporcionará a la aeronave datos sobre posición y hora.[13]

Se proporcionará el servicio de navegación del GNSS mediante diversas combinaciones de los siguientes elementos instalados en tierra, a bordo de satélites o a bordo de la aeronave:

- **A-** el sistema mundial de determinación de la posición (GPS) que proporciona el servicio de determinación de la posición normalizado (SPS).
- **B-** El sistema mundial de navegación por satélite (GLONASS) que proporciona la señal de navegación de canal de exactitud normal (CSA).
- **C-** El sistema de aumentación basado en la aeronave (ABAS)
- **D-** El sistema de aumentación basado en satélites (SBAS).
- **E-** El sistema de aumentación basado en tierra (GBAS).
- **F-** El sistema regional de aumentación basado en tierra (GRAS).
- **G-** El receptor GNSS de aeronave.

[13] Nota: Estos datos se obtienen a partir de mediciones de seudodistancias entre una aeronave equipada con un receptor GNSS y diversas Fuente de señales a bordo de satélites o en tierra.

Referencia de espacio y horaria. Referencia de espacio: Se expresará la información sobre posición proporcionada al usuario mediante el GNSS en función de la referencia geodésica del Sistema geodésico mundial[14].

Referencia horaria: Se expresarán los datos de la hora proporcionados al usuario mediante el GNSS en una escala de tiempo en la que se tome como referencia el tiempo universal coordinado (UTC).

Actuación de la señal en el espacio La combinación de elementos GNSS y de un receptor de usuario GNSS sin falla satisfará los requisitos de señal en el espacio definidos en la Tabla 3.7.2.4-1. Del anexo 10, volumen 1 de la OACI.

El concepto de receptor de usuario sin falla se aplica solamente como medio para determinar la actuación de combinaciones de diversos elementos del GNSS. Se supone que el receptor sin falla tiene la exactitud y actuación de tiempo hasta alerta nominales.

Se supone que tal receptor no tiene fallas que influyen en la actuación en materia de integridad, disponibilidad y continuidad.

Especificaciones de los elementos del GNSS. *Servicio de determinación de la posición normalizado GPS (SPS) (L1).*

Exactitud de los segmentos espacial y de control.

---

[3] Nota 1: Los SARPS relativos al WGS-84 figuran en el Anexo 4, Capítulo 2; el Anexo 11, Capítulo 2; el Anexo 14, Volúmenes I y II, Capítulo 2; y el Anexo 15, Capítulo 3, anexos de la OACI.
Nota 2: Si se emplean elementos del GNSS que no utilizan coordenadas WGS-84, habrán de aplicarse parámetros adecuados de conversión.

Exactitud de la posición: [15]Los errores de posición del SPS del GPS no excederán de los límites siguientes:

Tabla 7. Exactitud de la posición

	Promedio mundial 95% del tiempo	**Peor Emplazamiento 95% del tiempo**
Error de posición horizontal	13 m (43ft)	36 m (118 ft)
Error de posición vertical	22 m (72ft)	77 m (253 ft)

Exactitud en cuanto a transferencia de tiempo: Los errores de transferencia de tiempo SPS del GPS no excederán de 40 nanosegundos el 95% del tiempo.

Exactitud en cuanto a dominio de distancia: El error de dominio de distancia no excederá de los límites siguientes:

a) Error de distancia de cualquier satélite: el valor superior de los siguientes:

- 30 m (100 ft)
- 4,42 veces el valor de exactitud telemétrico del usuario (URA) radiodifundido, que no deberá exceder de 150 m (490 ft).

b) Error de cambio de distancia de cualquier satélite — 0,02 m (0,07 ft) por segundo.

c) Error de aceleración en distancia de cualquier satélite — 0,007 m (0,02 ft)/s.

d) Media cuadrática del error telemétrico de todos los satélites — 6 m (20 ft).

[15] Nota: En las normas de exactitud que siguen no se incluyen los errores atmosféricos o del receptor.

Disponibilidad: La disponibilidad del SPS del GPS será la siguiente:

≥ 99% de disponibilidad del servicio horizontal, emplazamiento promedio (36 m, umbral del 95%).

≥99% de la disponibilidad del servicio vertical, emplazamiento promedio (77 m, umbral del 95%)

≥90% de disponibilidad del servicio horizontal, peor emplazamiento (36 m, umbral del 95%)

□90% de disponibilidad del servicio vertical, peor emplazamiento (77 m, umbral del 95%)

Fiabilidad: La fiabilidad del SPS del GPS estará dentro de los límites siguientes:

a) frecuencia de una falla importante del servicio — no superior a tres al año para la constelación (promedio mundial)

b) fiabilidad — por lo menos del 99,94% (promedio mundial)

c) fiabilidad — por lo menos del 99,79% (promedio en un punto).

Cobertura. El SPS del GPS abarcará la superficie de la tierra hasta una altitud de 3 000 km.

- ***Nivel de potencia de la señal:*** Cada satélite GPS radiodifundirá señales de navegación SPS con potencia suficiente para que, en todos los lugares sin obstáculos cerca de tierra desde los que se observe el satélite a un ángulo de

elevación de 5º o superior, el nivel de la señal RF recibida a la salida de una antena polarizada linealmente de 3 dBi esté dentro de la gama de -160 dBW a -153 dBW para cualquier orientación de la antena en sentido perpendicular a la dirección de propagación.

- ***Modulación:*** La señal L1 SPS será modulada por desplazamiento de fase bipolar (BPSK) con un ruido seudoaleatorio (PRN) de código bruto/adquisición (C/A) de 1 023 MHz Se repetirá la secuencia de código C/A cada milisegundo.
La secuencia de códigos PRN transmitida será la adición Módulo 2 de un mensaje de navegación de 50 bits por segundo y de un código C/A.

- ***Espectro de señal:*** La potencia de señal CSA del GLONASS estará dentro de la banda de ± 5,75 MHz con centro en cada frecuencia portadora del GLONASS.

Polarización: La señal RF transmitida será de polarización circular dextrógira.

4.3 SISTEMAS DE TRANSICIÓN EN VIGILANCIA

4.3.1 Sistema de alerta de tráfico para la evasión de colisión en el aire (TCASII). El TCAS II es un sistema de alerta y anti-colisión de tránsito que opera sin necesidad de estaciones de control de tránsito aéreo en tierra. Este sistema también llamado por la OACI como **ACAS** (Sistema anticolisión de abordo) el cual detecta la presencia de otros aviones que se encuentren cerca de nosotros, los cuales deben estar equipados con "transponders" que respondan la interrogación del radar en modo "C" o "S". El sistema TCAS sigue y evalúa continuamente el peligro potencial de otros aviones con respecto al nuestro, mostrándolos en el display y ante la amenaza de una probable colisión, generara avisos visuales y auditivos a la tripulación para una apropiada acción evasiva (sólo verticalmente).

TCAS no puede detectar ninguna aeronave "Intrusa" si estas no poseen un transponder operativo.

Para el manejo del sistema TCAS se tiene que tener en cuenta una serie de conceptos que se expondrán a continuación.

- El radar de vigilancia es un equipo de radar utilizado para determinar la posición, en distancia y azimut, de las aeronaves, el TCAS da la información de evasión vertical, el transponder del otro avión debe tener modo altitud.

- A diferencia del radar primario el radar secundario de vigilancia es un sistema que usa transmisores/receptores (interrogadores) y transpondedores para la identificación de la aeronave.

- Junto con el sistema de radar de vigilancia funciona el sistema anticolisión a bordo este sistema de la aeronave se basa en señales de transpondedor del radar secundario de vigilancia (SSR) que funciona independientemente del equipo instalado en tierra para proporcionar aviso al piloto sobre posibles conflictos entre aeronaves dotadas de transpondedores SSR (estos transpondedores SSR son los que operan en Modo C o en Modo S).

El TCAS II opera en la misma frecuencia de transmisión y recepción que las estaciones terrenas (transmisión: 1030 MHz y recepción: 1090 MHz). El equipo TCAS y las estaciones de tierra operan en transmisión y recepción, en frecuencias inversas a las que opera el transponder como se puede apreciar en la Tabla 8.

Tabla 8. Frecuencias a las que operan los transponder

SISTEMA	FRECUENCIA DE Tx	FRECUENCIA DE Rx
Transponders modo S o modo A/C	1090 MHz	1030 MHz
TCAS II	1030 MHz	1090 MHz
Estación de tierra	1030 MHz	1090 MHz

CARACTERÍSTICAS DEL RADAR SECUNDARIO. Los modos SSR se designan por las letras A y C. Para asignar los impulsos individuales utilizados en los trenes de impulsos aire-tierra, se utilizan letras con subíndice, por ejemplo, A_2, C_4. Este uso común de letras no debe interpretarse como indicación de una determinada asociación entre modos y códigos.

- **Radiofrecuencias (Tierra - Aire) De Interrogación Y Control (Supresión De Los Lóbulos Laterales De La Interrogación)** La frecuencia portadora de las transmisiones de interrogación y de control será de 1.030 MHz La tolerancia de frecuencia será de ± 0,2 MHz Las frecuencias portadoras de la transmisión de control y de cada una de las transmisiones de impulsos de interrogación no diferirán entre sí más de 0,2 MHz

- **Frecuencia portadora de respuesta (aire a tierra).** La frecuencia portadora de la transmisión de respuesta será de 1.090 MHz La tolerancia de frecuencia será de ± 3 MHz La polarización de las transmisiones de interrogación, control y respuesta será predominantemente vertical.

- **Modos de interrogación (señales en el espacio)** La interrogación consistirá en la transmisión de dos impulsos llamados P1 y P3. Se transmitirá un impulso de control P2 inmediatamente después del primer impulso de interrogación P1.

El intervalo entre P1 y P3 determinará el modo de interrogación y será el siguiente:

Tabla 9. Intervalos de interrogación

Modo A	8 ± 0,2 µs
Modo C	21 ± 0,2 µs

El intervalo entre P1 y P2 será de 2,0 ± 0,15 µs así como la duración de los impulsos P1, P2 y P3, será de 0,8 ± 0,1 µs y el l tiempo de aumento de los impulsos P1, P2 y P3 estará comprendido entre 0,05 y 0,1 µs.

En las gráficas anteriores se puede ver las formas de ondas, intervalos y puntos de referencia para sensibilidad y potencia del radar secundario de vigilancia

Figura 21. Pantalla de TCAS II



Fuente: Flickr. E/WD A 321 RTO [Articulo en internet]
http://www.flickr.com/photos/61854818@N00/2246929810/ [consulta 10 octubre 2008]

Características técnicas de los transpondedores con funciones de modo a y modo c solamente Respuesta. El transpondedor (con no menos del 90% de activación) responderá cuando se cumplan todas las siguientes condiciones:

a) la amplitud recibida de P3 sea superior a un nivel de 1 dB por debajo de la amplitud recibida de P1, pero no más de 3 dB por encima de la amplitud recibida de P1.

b) o bien no se recibe ningún impulso en el intervalo de 1,3 a 2,7 µs después de P1, o P1 excede en más de 9 dB cualquier impulso recibido en este intervalo.

C) la amplitud recibida de una señal de interrogación apropiada exceda en más de 10 dB la amplitud recibida de impulsos aleatorios, cuando éstos no se identifiquen por el transpondedor como P1, P2 o P3.

El transpondedor no responderá en las siguientes condiciones:

a) a interrogaciones en las que el intervalo entre los impulsos P1 y P3 difiera en más de ± 1,0 µs del especificado en 3.1.1.4.3;

b) al recibir un solo impulso cualquiera que no tenga variaciones de amplitud que se aproximen a una condición de interrogación normal.

Tiempo muerto: Después de haber reconocido una interrogación apropiada, el transpondedor no responderá a ninguna otra interrogación, al menos durante el tiempo empleado en la emisión del tren de impulsos de respuesta. Este tiempo muerto terminará no después de los 125 µs siguientes a la transmisión del último impulso de respuesta del grupo.

- **Supresión** Esta característica sirve para evitar que se reciban respuestas a interrogaciones en los lóbulos laterales de la antena del interrogador y para evitar que los transpondedores en Modos A/C respondan a las interrogaciones en Modo S.

El transpondedor será suprimido cuando la amplitud recibida de P2 sea igual o mayor que la amplitud recibida de P1 y exista un espaciado entre ambas de 2 ± 0,15 µs. No se requiere la detección de P3 como condición previa para iniciar la acción de supresión. El transpondedor será suprimido durante un período de 35 ± 10 µs, además podrá volverse a iniciar la supresión con toda su duración dentro de los 2 µs siguientes a la terminación de cualquier período de supresión.

- **Potencia radiada** Para de mantener al mínimo la interferencia del sistema, la potencia radiada aparente de los interrogadores debería reducirse al valor más bajo compatible con el régimen exigido operacionalmente de cada uno de los emplazamientos del interrogador.

Cuando la información en modo C haya de usarse en relación con aeronaves que vuelen por debajo de los niveles de transición, debería tenerse en cuenta el punto de referencia de presión del altímetro.

La utilización del modo C por debajo de los niveles de transición está de acuerdo con el criterio de que el Modo C puede emplearse útilmente en todos los ambientes.

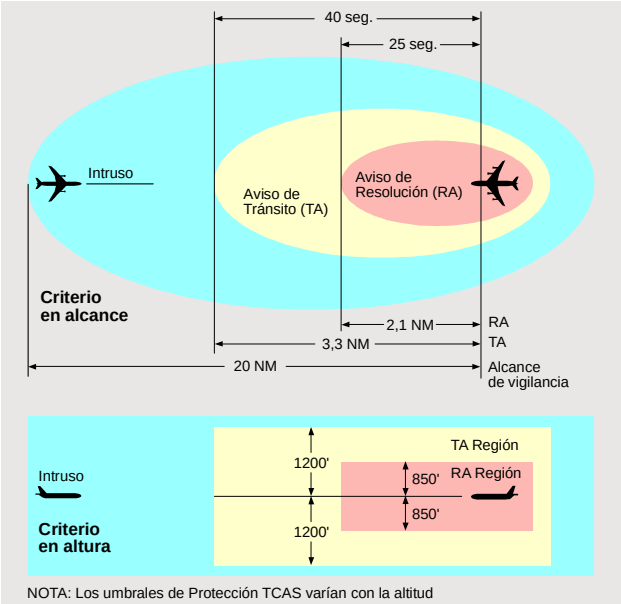
- **Régimen de respuesta** El transpondedor será capaz de dar por lo menos 1 200 respuestas por segundo para una respuesta codificada de 15 impulsos, excepto que, para instalaciones de transpondedores utilizadas exclusivamente por debajo de 4 500 m (15 000 ft), o por debajo de una altitud menor fijada por la autoridad competente, o establecida en virtud de acuerdo regional de navegación

aérea, se permitirán transpondedores capaces de dar por lo menos 1 000 respuestas por segundo para una respuesta codificada de 15 impulsos.

- Control del límite del régimen de respuesta. Para proteger el sistema contra los efectos de una interrogación excesiva del transpondedor, evitando que responda a señales más débiles cuando se ha alcanzado un régimen de respuesta predeterminado, se incorporará en el equipo un control de límite de respuesta del tipo de reducción de sensibilidad. La amplitud de ese control permitirá como mínimo efectuar un ajuste de forma que limite las respuestas a cualquier valor entre 500 y 2 000 respuestas por segundo, o al régimen máximo de respuestas si éste fuese inferior a 2 000 respuestas por segundo, independientemente del número de impulsos de cada respuesta. La reducción de sensibilidad de más de 3 dB no tendrá lugar hasta que se exceda el 90% del valor seleccionado. La reducción de sensibilidad será de 30 dB por lo menos, para regímenes que excedan del 150% del valor seleccionado.

El límite del régimen de respuesta debería establecerse en 1 200 respuestas por segundo, o en el valor máximo que corresponda a las posibilidades del transpondedor si este valor fuese inferior a 1 200 respuestas por segundo.

Figura 22. Rangos de distancia a los que muestra intrusos el ACAS



Fuente:: gobierno de espana ministerio de fomento. Programa de ACAS. [articulo en internet] http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/AVIACION_CIVIL/NAVEGACION/PROGRAMAS/ACAS/princi.htm. [consulta 16 mayo 2008]

Actualmente, el Sistema Anticolisión y Alerta de Tráfico (TCAS, Traffic alert and Collision Avoidance System) es el único sistema comercialmente disponible del ACAS. Los resultados y estudios de seguridad internacionales han mostrado que existe un significativo beneficio obtenido de la implantación a bordo y operación del TCAS II, reduciendo el riesgo de colisiones al menos a la mitad.

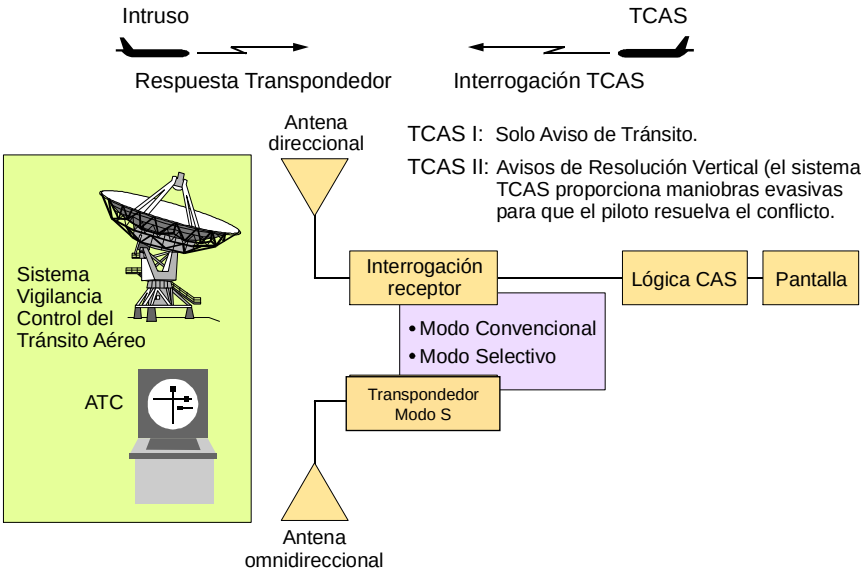
La experiencia operativa del TCAS II ha confirmado, tanto mundialmente como en los Estados de la CEAC, su eficacia. La política de la CEAC por tanto es requerir la instalación obligatoria y operación de un ACAS II en las aeronaves civiles, cuando vuelen en el espacio aéreo de los Estados miembros de la CEAC.

- **Implantación Del ACAS II.** ACAS II es una versión mejorada del sistema ACAS, que además de proporcionar alertas de tráfico al piloto (TA), también le ofrece, cuando es necesario, un aviso de resolución del conflicto potencial (RA) indicándole un cambio en su trayectoria vertical como se muestra en la figura 23.

La Conferencia Europea de Aviación Civil (CEAC) ha establecido de forma obligatoria la instalación y operación del ACAS II en la mayoría de aeronaves civiles para volar en todo el espacio aéreo de sus Estados miembros. El calendario de implantación del ACAS II distingue dos fases, según el tipo de aeronave. Una a partir del 1 de enero de 2000, y la otra desde el 1 de enero de 2005.

Los operadores de aeronaves afectadas por la primera fase del calendario para la implantación del ACAS II (1 de enero de 2000), manifestaron la aparición de problemas prácticos que impidieron el cumplimiento de este requisito en toda su flota. Por ello se estableció un Período de Transición, donde se concedían exenciones a aquellas aeronaves que demostrasen no poder cumplir el calendario requerido.

Figura 23. Modo de implantación del Acas II



Fuente: [16]

4.4 SISTEMAS NUEVOS O EN PRUEBA EN COMUNICACIÓN

4.4.1 VHF data link (VDL Modo 2). El VDL es un orientador de bits el cual envía datos aire-tierra entregando datos a una velocidad de 31.5 Kbps Usando modulación "Differential 8 Phase Shift Keving" (D8PSK). Esto es 13 veces más rápido que la Comunicaciones VHF de ACARS (Aircraft Communication and Reporting System). Esta es la mayor posibilidad de tasas de bits que pueda soportar canales de 25 kHz con rango de 200 millas náuticas.

El sistema de Comunicaciones de enlace digital de muy alta frecuencia (VHF) (VDL) es uno entre una serie de subredes de la aeronave a tierra que puede ser utilizado en apoyo de las Comunicaciones de datos, por la Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas (ATN) entre los procesos de aplicación de

[16] Ibíd.

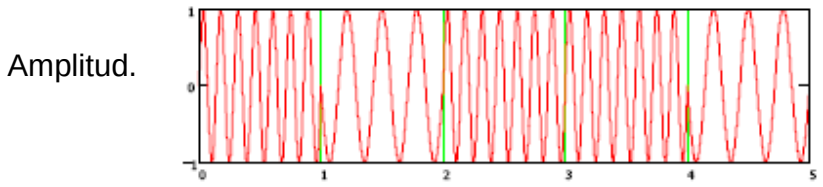
base en la aeronave y sus procesos pares de base en tierra las funciones de Comunicaciones de datos a su vez, son compatibles con los protocolos de Comunicaciones digitales empleados por los transceptores de datos VHF y en apoyo del equipo de aviónica del sistema VDL.

Para hablar de la comunicación VDL se tiene que entender el proceso de modulación y las diferentes formas de evitar que las Comunicaciones colisionen por múltiples accesos, entre los diferentes métodos se tienen:

- **TDMA:** acceso múltiple por división de tiempo, es un sistema conocido también por ser utilizado en la comunicación celular GSM, una diferencia importante entre las versiones de 800 MHz y 90 MHz del TDMA es que no hay canales de control analógico en las bandas del PCS, el TDMA utiliza canales de RF separados para trasmitir y recibir.

- **FSK:** modulación por desplazamiento de 0 es un esquema de modulación digital más simple, en su forma más simple, se trasmiten dos frecuencias, una correspondiente al uno binario, la otra al cero en los sistemas de comunicación digitales, uno se denota con el termino **marca** (marca) y a un cero se llama **espacio** (space), figura 24 , esto está muy ligado a los mensajes de la telegrafía, o código Morse, este es un esquema robusto, es decir, al igual que la FM analógica, tiende a ser confiable en presencia de ruido. Su desventaja es que como cada símbolo tiene solo dos estados posibles, no es muy eficaz en términos de ancho de banda, por lo regular se utiliza para aplicaciones de baja tasa de datos como los radio-localizadores personales y para trasmitir ráfagas de datos en sistemas que sobre todo son analógicos.

Figura 24. Modulación FSK binaria (nivel 2)



Fuente: [17]

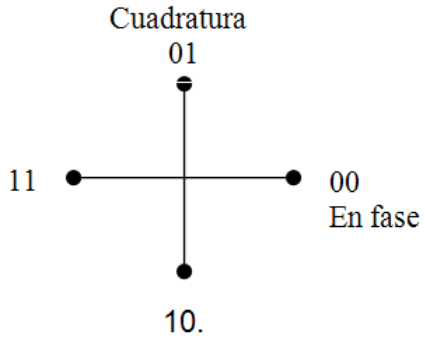
- **DPSK Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)**: Cuando se requieren tasas de datos un poco más altas en un canal de banda limitada de las que se logran con la FSK, se utiliza con frecuencia la *modulación por desplazamiento de fase* (PSK). Para medir la fase se requiere una fase de referencia, que sería difícil de mantener con precisión. Por lo común, la fase de cada símbolo se compara con la del símbolo anterior, y no con una constante de referencia. Este tipo de PSK se describe de manera más completa como modulación delta por desplazamiento de fase (Delta Phase-Shift Keving DPSK). En la mayoría de los módems DPSK se utiliza un sistema de cuatro fases conocido como modulación en cuadratura por desplazamiento de fase (Quadrature Phase-Shift Keving, QPSK o QFSK). En la QPSK, cada símbolo representa dos bits y la tasa de bits es el doble de la tasa de baudios. A esto se le conoce como sistema dibit. Este sistema puede llevar el doble de datos en el mismo ancho de banda que un sistema de un solo bit como FSK, siempre que la relación señal a ruido sea lo suficientemente alta.

La figura 25 muestra el diagrama vectorial que representa un sistema común DQPSK. Los desplazamientos de fase están dados con respecto a la fase del símbolo previo. Cada uno los cuatro posibles desplazamientos de fase (incluyendo

[17] Geoff Smithson. Introduction to digital modulation schemes. S.p.i. 3 P

el desplazamiento cero) se asocia con una secuencia de dos bits, como se ilustra en la Tabla 10.

Figura 25. Diagrama vectorial del DQPSK



Fuente: ROY. Blake. Sistemas electrónicos de Comunicaciones. 2 ed. Thompson, 2004. P 411.

Tabla 10. Codificación del DQPSK

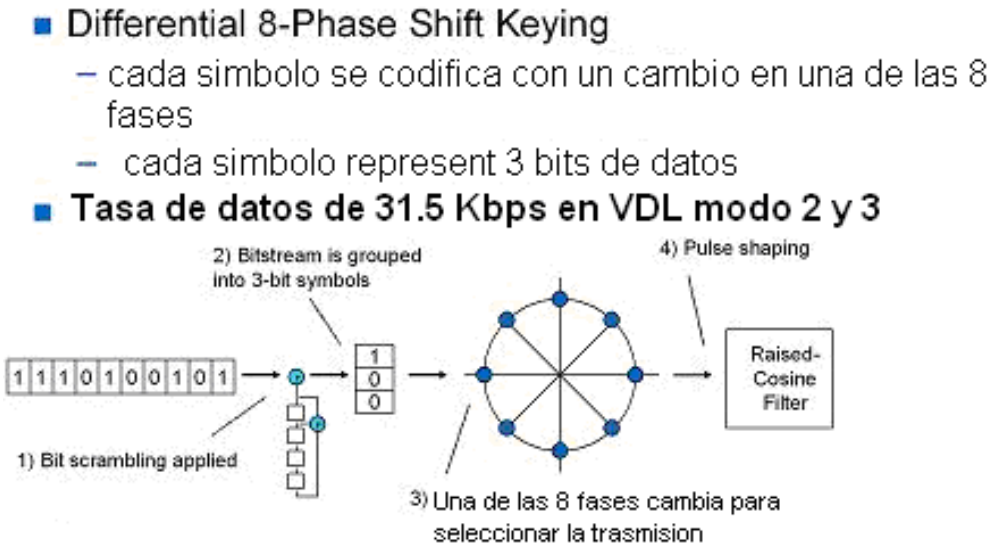
Cambio de fase (grados)	**Símbolo**
0	00
+90	01
-90	10
180	11

Fuente: [18]

- **Modulación "Differential 8 Phase Shift Keying" (D8PSK**). Esta modulación significa que cada símbolo transmitido representa uno de ocho estados de cambio menor de fase de la portadora 0, π/4, π/2, 3π/4 radianes, etc.), figura 26.

[18] Ibíd., p.412

Figura 26. Modulación D8PSK



Fuente: [19]

La disponibilidad de 8 estados quiere decir que cada símbolo puede representar 3 bits de datos. La frecuencia de la señal es de 10.5 Kbps, dando la velocidad de tráfico binario que es tres veces más alto, a una red 31.5 Kbps Los datos son recogidos al "Triple" de bits antes que transmitir y rellenar asegurando que las transmisiones incluyan un número de números enteros siempre de 3 bit de símbolos.

La codificación de fase de la portadora es de tal forma que cada símbolo es representado por la diferencia entre la fase previa y la fase en curso, ejemplo una señal que es codificada diferencialmente. Esto es porque el destinatario no tiene ninguna referencia de fase para la señal de la portadora, ejemplo. El destinatario no sabe qué debe aparecer con un desplazamiento de fase de 0 radianes la señal.

[19] Aurelie Valtat. Eurocontrol. http://elearning.eurocontrol.int/ATMTraining/precourse/com/dlt/Taste%20The%20Course/VDL_003_005/Default.html, [consulta: 19 abril 2008]

Por el contrario el destinatario puede medir la diferencia entre dos fases y usar esto para determinar el símbolo que está transmitiendo.

Luego de la codificación de los cambios de fase la señal es filtrada con uno elevador- de coseno (con el parámetro a = 0.6) antes de la transmisión. El filtro elevador - de coseno reduce los lóbulos laterales espectrales de la señal D8PSK, reduciendo el monto de la fuerza en que eso se emite fuera del canal.

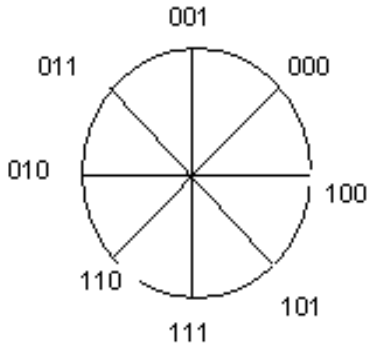
Note que los datos también se desmodulan antes de ser transmitido sobre el enlace de datos, como consecuencia de la des-modulación por una seudo secuencia de binario aleatoria. El desmodular se usa para ayudar a la recuperación de reloj en el destinatario y estabilizar la forma del espectro transmitido.

- **Codificación por múltiples fases.** El plan de modulación del VDL en modo 2 aplicara el método de codificación Gray para efectuar la correspondencia o asignar los bits de la información, 3 bits a una de las ocho fases posibles. El Código Gray es un caso particular de sistema binario. Consiste en una ordenación de 2^n números binarios de tal forma que cada número sólo tenga un dígito binario distinto a su predecesor, figura 34. [20]

Esta técnica de codificación se originó cuando los circuitos lógicos digitales se realizaban con válvulas de vacío y dispositivos electromecánicos. Los contadores necesitaban potencias muy elevadas a la entrada y generaban picos de ruido cuando varios bits cambiaban simultáneamente. El uso de código Gray garantizó que en cualquier transición variaría tan sólo un bit, figura 27.

[20] Ibíd.

Figura 27. Diagrama de fase de D8PSK con codificación Gray.



Fuente: [21]

Hay varios algoritmos para generar una secuencia de código Gray (y varios códigos posibles resultantes, en función del orden que se desee seguir), pero el más usado consiste en cambiar el bit menos significativo que genera un nuevo código. En la Tabla 11 se muestra un código Gray de cuatro bits generado con dicho algoritmo:

[21] Ibíd.

Tabla 11. Código Gray de 4 bits

Equivalencia decimal	Código Gray		Equivalencia decimal	Código Gray
0	0000		12	1100
1	0001		13	1101
3	0011		15	1111
2	0010		14	1110
6	0110		10	1010
7	0111		11	1011
5	0101		9	1001
4	0100		8	1000

Fuente: Todo monografías. [Articulo en internet]
http://www.todomonografias.com/images/2007/04/1044451.gif [consulta: 19 mayo de 2008]

Los errores más probablemente ocasionados por el ruido implican la selección errónea de una fase adyacente a la fase de la señal trasmitida; aplicándose el método de codificación Gray solamente ocurre un solo error de bits en la secuencia de 3 bits.

- **Velocidad de transmisión del VDL modo 2.** En los modos futuros del VDL a los que se incorporan los planes de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) pueden hacer uso del reloj de símbolo de base de banda para mantener la temporización conducente al acceso al medio. En este caso, se prevé que el equipo de tierra que sea compatible con planes TDMA requeriría una tolerancia en el reloj de símbolos de banda de base por lo menos de ± 0.001%.

- **Operación VDL modo 2** Un bloque de ACARS de 250 caracteres tardará aproximadamente 0.06 segundos en cruzar el vínculo, el VDL Modo 2 por el contrario tarda 0.83 segundos sobre el vínculo de ACARS.

La aeronave y las estaciones en tierra intercambian datos usando "Marcos". Cuatro "Marcos" pueden ser enviados antes de que un reconocimiento sea requerido. ACARS por otro lado, debe parar y esperar después de cada transmisión. El VDL modo 2 resultará en la transmisión más rápida de multi-bloque de mensajes como bases de datos de vientos, planes de vuelo, etcétera.

Cuando se sintoniza el canal de señal común (CSC) para VDL modo 2 de (136.975 MHz), la aeronave escucha la transmisión de los “Ground Station Identification Frames” (GSIF's), identificando el proveedor de servicios y servicios ofrecidos por esa estación de tierra. Después de escuchar uno o más GSIF's, la aeronave determina qué estación de tierra es mejor (sobre la base de la preferencia de proveedores de servicios, servicios ofrecido y potencia de la señal) y luego hace un enlace lógico a la estación de tierra seleccionada. Cuando la aeronave transita por el espacio aéreo, guarda la pista de todas las estaciones de tierra que puede escuchar. Cuando la calidad de la señal de la estación de tierra actualmente conectada se degrada debido a los efectos de rango, la aeronave seleccionará la mejor estación de tierra de la lista de candidatas luego hará un enlace lógico a esta estación de tierra. De esta manera, las conexiones de aire / tierra (A/T) lógicas hacen una transición perfecta cuando la aeronave vuela por el espacio aéreo.

Para evitar las colisiones con las transmisiones de otras estaciones de tierra y/o aeronave, los "Marcos" son solamente enviado cuando un destinatario nota que el canal de VHF está limpio. Este sistema es llamado “Carrier Sense Multiple Access” (CSMA) y da un paso para reducir la probabilidad que aeronaves no

transmitan simultáneamente. La operación de CSMA del VDL modo 2 es superior a la del ACARS en que detecta un canal claro más rápidamente. Esto se muestra en la reducción del retraso en los mensajes y rata más alta de éxito por turno, bajo las condiciones de carga pesadas o alto tráfico. Un beneficio muy importante de CSMA es los gastos generales de fabricación más bajos por estación en tierra, aeronave independiente y no requerir de sincronización o de cronometrar la señal desde un central de origen.

El protocolo de " Aviation VHF Link Control" el (AVLC) establece un enlace lógico a una estación en tierra. Las estaciones en tierra están conectadas a los «routers» con una red fija a la red de telecomunicaciones aeronáuticas (ATN) y a los procesadores de ACARS del VDL modo 2, soportando tanto ATN como ACARS sobre el AVLC (AOA).

Las aeronaves se identifican en el protocolo de AVLC usando la misma dirección de 24 bit mencionada por la ICAO que usan en el radar de modo s, en el enlace de datos de HF y el sistema de Comunicaciones vía satélite aeronáutico. Las direcciones en común con otros sistemas simplifica la dirección de las Comunicaciones.

La "Subnetwork Dependent Convergence Function" (SNDCF) provee la flexibilidad de pasar a otros protocolos de transporte sin requerir los cambios para las aplicaciones de la misma sub-red del VDL modo 2.

El VDL modo 2 es un sistema "Bit-oriented", quiere decir que los mensajes son enviados más eficientemente. La transmisión de ACARS es limitada a cartas y números, mientras que VDL modo 2 codifica los datos enviados. Una autorización simple como, ASCIENDA Y MANTENGA FL 300, toma al menos 224 bits usando ACARS, con VDL esto podía ser codificado para tomar solamente 10 bits, las

Comunicaciones “Bit-oriented” también soportarán gráficos en la cabina del piloto abriendo nuevas oportunidades.

Inicialmente el controlador principal se introduce al VDL modo 2 para servicios de tráfico aéreo, es el soporte para “Controller Pilot Data Link Communication” (CPDLC) en el espacio aéreo continental.

Esto permitirá una transición suave al sistema de Dirección de Tráfico Aéreo (ATM) para el cual las Comunicaciones de datos son la piedra angular.

El estándar de VDL modo 2 de la ICAO especifica que las estaciones de tierra pueden usarse para trasmitir posición enviando mensajes para múltiples aeronaves. Esto abre el camino para aplicaciones de transmisión como FIS-B, las transmisiones de clima y NOTAMS.

Los métodos utilizado para evitar las colisiones de las Comunicaciones por múltiple acceso deben estar diseñados para garantizar que los mensajes sean enviados y en lo posible no sea necesario una señal de referencia con la que se tenga que sincronizar en la tabla 12 se muestran los diferentes accesos y características.

Tabla 12. Accesos y características para las Comunicaciones por múltiple acceso.

Acceso	**CSMA**	**TDMA (s)**	**CDMA**
Tiempo de entrega garantizado	No	Si	Si
Requiere sincronización	No	Si	No

- **Protocolo CSMA Acceso Multiple por Detección de Portadora.** En informática, se entiende por Acceso Múltiple por Detección de Portadora (Carrier

Sense Multiple Access) el escuchar el medio para saber si existe presencia de portadora en los momentos en los que se ocupa el canal. El fin es evitar colisiones, es decir que dos host hablen "al tiempo". Por otro lado define el procedimiento que estos dos host deben seguir si llegasen a usar el mismo medio de forma simultánea.

Distintos tipos de CSMA que se pueden encontrar:

CSMA/CD: Con detección de colisión. Primero determina si el medio está ocupado o no antes de trasmitir los datos. El nodo tiene que esperar si la red está ocupada. Si dos nodos tratan de transmitir un paquete simultáneamente, una colisión ocurrirá. Los dos nodos transmitiendo escuchan la red, el mensaje de detección de colisión. Si una colisión es detectada, los nodos que están transmitiendo esperan una longitud aleatoria de tiempo antes de volver a procesar la transmisión.

CSMA/CA: con Evasión de Colisión: Cada equipo anuncia opcionalmente su intención de transmitir antes de hacerlo para evitar colisiones entre los paquetes de datos.

CSMA-NP (no persistente): si el medio está libre transmite, si no, espera un tiempo aleatorio. Este tiempo es distinto para dos estaciones lo que evitará las colisiones, pero esto deriva en una pérdida de tiempo al final de cada transmisión. Ventaja: Es más fácil de implementar. Inconveniente: introduce una mayor latencia.

4.4.2 VHF Data link (VDL) Modo 3.

- **PROTOCOLO: TDMA** La tecnología TDMA surge como una respuesta a las necesidades de ampliación del sistema analógico de Comunicaciones. TDMA

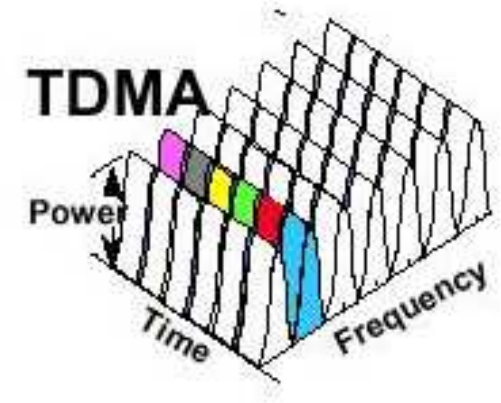
significa Time – Division Multiple Access, y es una tecnología que permite el mayor número de llamadas simultáneas, siendo aplicable a las celdas PCS (Personal Communications Services) y a otras redes inalámbricas. Fue una tecnología que se adoptó rápidamente debido a que ya tenía bases en Europa como base del sistema celular digital GSM.

El sistema TDMA está diseñado para su uso en ambientes y situaciones variadas, desde usuarios fijos en una oficina hasta usuarios móviles viajando a gran velocidad. Este sistema soporta además una gran variedad de servicios al usuario final, como envío de datos, voz, faxes, servicio de mensajes, y transmisión de gran cobertura.

TDMA ofrece una interfaz flexible con gran desempeño en cuanto a capacidad, cobertura y soporte ilimitado de movilidad y capacidad de manejar y satisfacer diferentes necesidades.

- **Características Básicas** En el multiacceso TDMA se emplea una sola portadora para dar servicio a varios canales mediante compartición temporal, figura 28. En el enlace descendente, de base a móvil, se transmite la portadora modulada por la señal múltiplex temporal con todos los canales. Cada estación móvil extrae la información en el intervalo temporal que tiene asignado y de ella obtiene las referencias de portadora y la temporización y sincronización de la trama.

Figura 28. Acceso Múltiple con División de Tiempo



Fuente:

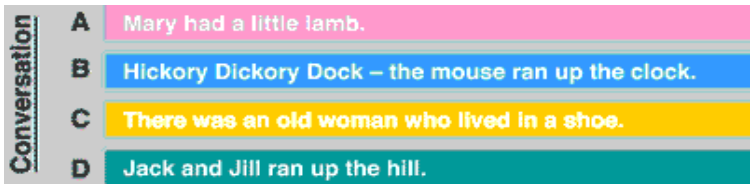
La transmisión en este sentido es TDMA (múltiplex temporal). En el enlace ascendente, de móviles a base, cada móvil envía su información en forma de una ráfaga de datos en el intervalo de tiempo asignado dentro de la trama. Como las portadoras y relojes de los diferentes móviles no están sincronizados y los tiempos de llegada de las ráfagas a la estación base son variables debido a las diferentes posiciones de los móviles, el enlace ascendente ha de funcionar en TDMA asíncrono, por lo que deben preverse unos tiempos de guarda para minimizar las colisiones entre las ráfagas que llegan a la estación base.

TDMA se apoya en el hecho de que las señales de audio han sido digitalizadas, esto es, divididas en paquetes de varios milisegundos. Posiciona un canal simple de frecuencia por un período corto de tiempo y después se cambia a otro canal. Las muestras digitales de un transmisor ocupan diferentes ranuras de tiempo en varias bandas al mismo tiempo.

La técnica de acceso usada en TDMA tiene a 3 usuarios compartiendo una portadora de frecuencia de 30 KHz. TDMA es además la técnica de acceso usada en estándar digital europeo GSM, y por el estándar digital japonés PDC.

La razón de usar TDMA para todos estos estándares fue que permite algunas características vitales para la operación del sistema en un ambiente celular avanzado o PCS. TDMA técnica disponible y bien probada en operaciones comerciales de muchos sistemas. Para demostrar esto se puede poner como ejemplo el uso de un canal por 4 conversaciones simultáneas al mismo tiempo.

Figura 29. Cuatro canales de conversación



Fuente: [22]

Un solo canal puede soportar 4 conversaciones si cada conversación es dividida en fragmentos relativamente cortos, se asignan a una ranura de tiempo y se transmiten en ráfaga en forma sincronizada. Una vez que la 4ta. Ranura es transmitida, el proceso se repite.

Figura 30. Cuatro conversaciones en un canal



Fuente: [23]I

Las implementaciones IS–54 e IS–136 de TDMA triplicaron en forma efectiva e inmediata la capacidad de la frecuencia al dividir los canales de 30 KHZ en tres ranuras de tiempo, permitiendo así a tres diferentes usuarios ocuparlo al mismo tiempo. Actualmente, los sistemas están implementados de tal forma que soportan

[22] International Engineering consortium. www.iec.org/online/tutorials/tdma/topic02.html [consulta: 25 mayo de 2008]

[23] Ibíd.

seis veces la capacidad de los anteriores. En el futuro, el uso de celdas jerárquicas, antenas inteligentes y canales adaptivos, permitirá que la capacidad sea de 40 veces la del sistema análogo.

TDMA mejoró en forma sustancial la eficiencia del sistema celular análogo. Sin embargo, tiene la desventaja de que desperdicia ancho de banda, la ranura de tiempo es asignada para una conversación específica sin importar si se esté realzando o no. La versión extendida de TDMA (ETDMA), tiene el objetivo de eliminar este inconveniente. En lugar de esperar a que el suscriptor transmita, ETDMA los asigna dinámicamente, enviando información en las pausas que normalmente tienen las conversaciones. Cuando un suscriptor tiene algo que transmitir, ponen un bit en el buffer de espera, el sistema escanea este buffer, notifica que el usuario tiene algo que transmitir y pone disponible el ancho de banda correspondiente. Si el usuario no tiene algo que transmitir, entonces el buffer se pasa al siguiente suscriptor, de esta forma el tiempo en lugar de ser asignado en forma arbitraria, se asigna según las necesidades. Si los usuarios en una conversación no hablan, esta técnica puede casi doblar la eficiencia de TDMA, haciéndolo 10 veces igual de eficiente que la transmisión analógica.

La frecuencia utilizada está en el rango de 117.975 a 137 MHz, con canales independientes de 25 KHz.

- **Ventajas de TDMA** En adición para incrementar la eficiencia de transmisión, TDMA ofrece más ventajas sobre otras tecnologías celulares. Primero, puedo ser adaptado para transmitir voz y datos, soporta diferentes velocidades, desde 64 Kbps a 120 Kbps, esto permite brindar servicios de fax, transmisión de datos, servicio de mensajes, y servicios de multimedia y videoconferencia.

A diferencia de otras técnicas de espectro amplio, las cuales sufren de interferencia debida a otras transmisiones en la misma frecuencia, la tecnología TDMA, que divide a sus usuarios en tiempo, asegura que no experimentarán interferencias de otras transmisiones simultáneas. Brinda también la ventaja de extender la vida útil de las baterías, ya que el móvil sólo transmite en porciones de tiempo en la duración total de la conversación.

Las instalaciones de TDMA presentan ahorro en cuanto a equipo, espacio y mantenimiento, factor importante ya que el tamaño de las celdas es cada vez menor. Este sistema también brinda beneficios económicos ya que permite actualizar los sistemas analógicos existentes a digitales. TDMA es también la única tecnología que ofrece una estructura de celdas jerárquicas, contando con pico, micro y macro celdas, permitiendo así una cobertura amplia y soportar tráfico y necesidades especiales.

Usando este sistema, el cual es 40 veces mayor en capacidad que el sistema AMPS, se tiene un gran beneficio económico, y debido a su compatibilidad con FDMA analógico, permite compatibilidad de servicios con dispositivos de modo dual.

- **Desventajas de TDMA** Una de las desventajas de TDMA es que cada usuario tiene una ranura de tiempo asignada. Sin embargo, cuando un usuario cambia de una celda a otra, no tiene una ranura asignada. Además, si todas las ranuras están ocupadas en la siguiente celda, la llamada se puede perder. De forma similar, si todas las ranuras de la celda en la cual se encuentra un usuario están ocupadas, este no recibirá una marcación.

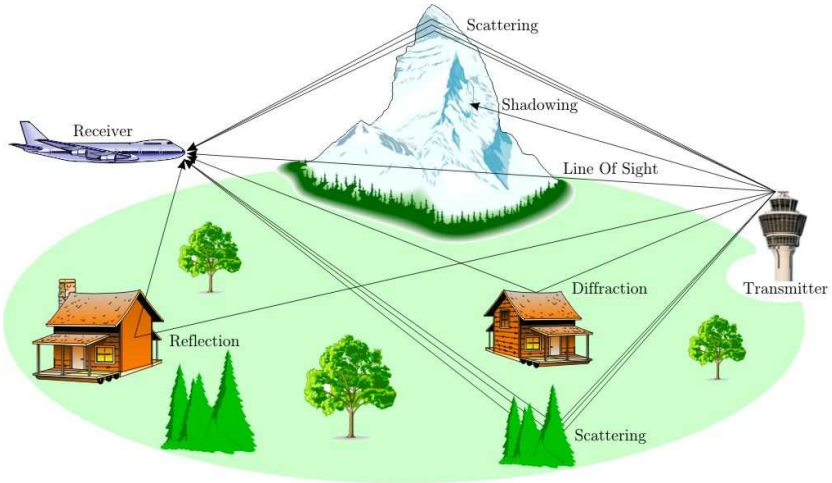
Otro problema del TDMA es la distorsión por multipat. Ya que la señal procedente de una torre a un móvil puede provenir de diferentes direcciones,

puede haber rebotado por varios edificios antes de llegar, lo que puede causar interferencia.

Una forma de eliminar esta interferencia es poner un tiempo límite al sistema. El sistema está diseñado para recibir, tratar y procesar a una señal con un cierto tiempo límite, después de que este tiempo expira, el sistema ignora la señal.

La sensibilidad del sistema depende de que tan lejos procese las frecuencias de multipath. Aún a miles de segundos estas señales de multipath causan problemas. Todas las arquitecturas celulares, ya sean basadas en micro o macro celdas, tienen un conjunto único de problemas de propagación. Las macro celdas son afectadas por señales de multipath causadas por reflexión y refracción, debilitando o cancelando la señal.

Figura 31. Multipath interference



Fuente: Fiebig. Communication System. [Articulo internet] http://www.kn-s.dlr.de/People/Haas/multipath_propagation.jpg [consulta: 18 junio 2008]

- **MODULACIÓN: D8PSK (DIFFERENTIAL 8 PHASE SHIFT KEYING)** TDMA utiliza la modulación D8PSK, la cual indica que cada uno de los símbolos

transmitidos representa un estado de los ocho estados de cambio de fase de la portadora y adicionalmente, cada símbolo representa 3 bits de datos.
La frecuencia de la señal es de 10.5 Kbps, lo cual da la velocidad de tráfico binario, que es tres veces más alta, a una rata o porcentaje de datos de 31.5 Kbps, ver figura 33.

En la modulación del VDL Modo 3, se emplea el método de codificación Gray con el fin de efectuar la correspondencia o asignar los bits de la información, 3 bits a una de las ocho fases posibles. La codificación Gray es una codificación en la cual las fases adyacentes difieren en un código binario según la figura 27.

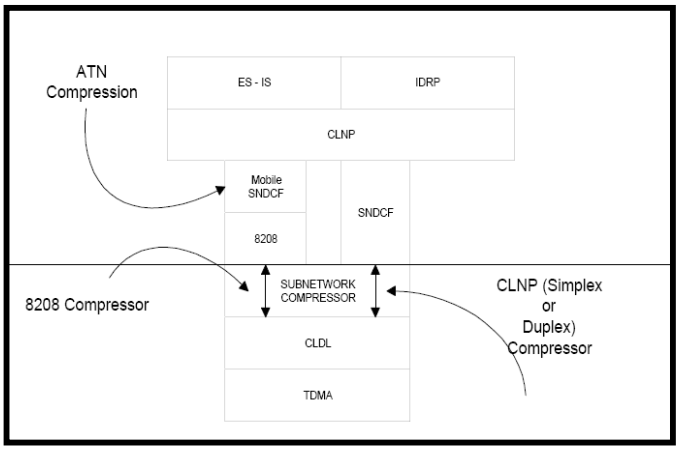
Los errores ocasionados por el ruido implican la selección errónea de una fase adyacente a la fase de la señal trasmitida. Con el método Gray solamente ocurre un error de bits en la secuencia de 3 bits.

Es un sofisticado sistema de comunicación aire-tierra para los servicios de tránsito aéreo, que ha sido normalizado por la OACI en 2001. Es un sistema completamente digital que puede proporcionar acceso simultáneo funcionalmente a voz y enlace de datos a través de la implementación de la arquitectura del sistema TDMA.

VDL3 es un servicio con acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA) con modulación D8PSK para canales de 25 kHz, que opera con una tasa de 32.5 kbps, presumiblemente sincronizado a la escala horaria GPS y que provee cuatro canales de comunicación por canal de radio de 25 kHz (nominalmente 3 de voz y 1 de datos). Tiene el potencial de proveer servicios de enlace de datos de área amplia con tasas de datos hasta 12.4 kbps. Es la opción de la FAA de Estados Unidos como reemplazo digital de las Comunicaciones de voz analógicas en VHF

y la actualización de los servicios de ATC denominada Nexcom, el diagrama en bloque se ilustra en la figura 32.

Figura 32. VDL 3 Protocolo de acceso



Fuente:[24]

Existe una jerarquía de escalas de tiempo asociadas con el VDL modo 3. Los conceptos importantes incluyen:

a) Estructura TDMA: la unidad básica de tiempo es una estructura de división de tiempo de múltiple acceso (TDMA) de 120 milisegundos (ms). En toda comunicación de voz, un radio transmitirá voz digitalizada periódicamente.

b) Canal de tiempo: las estructuras están divididas en canales de tiempo. Hay dos clases de configuraciones de VDL modo 3, las cuales están basadas en dos tamaños diferentes de canales de tiempo. Para la configuración de cuatro canales, las estructuras están divididas en cuatro canales de 30 ms. Para las configuraciones de 3 canales, las estructuras están divididas en tres canales de 40 ms.

[24] Ibíd.

c) Subsánales: para la mayoría de las configuraciones (excepto 3T) cada canal está dividido en dos sub-canales. El primer sub-canal está dedicado al manejo de transmisiones del canal y el segundo sub-canal está dedicado a la transmisión de voz o datos (V/D).

d) Cada MAC: un ciclo MAC se compone de dos estructuras TDMA.

e) Epoch: un epoch se compone de 25 ciclos MAC o 6 segundos. El concepto de epoch es usado para definir cómo sincronizar un radio de tierra con una Fuente: de tiempo que suministre señales a razón de uno por segundo.

- CONFIGURACIÓN 3T En esta configuración el uso del canal es diferente respecto a otras configuraciones en las que el primer canal de tiempo en cada estructura es usada completamente por las funciones del canal M. Otra característica especial de la configuración 3T es que tanto voz como datos están igualmente establecidos o en la misma base y pueden proceder solo después de tener una ubicación previamente negociado con los canales M.

VDL-3 enlace de datos VHF que transmite simultáneamente voz y datos. Principio del formulario VHF Digital Link Modo 3 (VDL-3) soporta 4 canales discretos utilizando Time División Multiple Access (TDMA). TDMA en el proceso divide la transmisión en 4 canales idénticamente espaciados en cuanto a tiempo. Cada una de las cuatro ranuras de tiempo se puede utilizar para datos, o para digitalizado de expresión. Así VDL-3 puede permitir que cuatro controladores se comuniquen con cuatro aeronaves que utilicen una única frecuencia.

Además de la congestión reducida otros beneficios que VDL-3 traerá serán el control de acceso a los canales e identificación de llamadas. En el VDL-3 concepto la intención había sido la de asignar los 4 canales de TDMA como 2 para datos y 2

de voz digitalizados. El sistema permite, sin embargo, esta configuración se modificada para adaptarse a las necesidades dinámicas en el lugar y la hora de que se trate.

VDL-3 comparte el mismo esquema de modulación de radio como VDL-2, ambas con el uso diferencial de cambio de fase de los Ocho Keying (D8PSK). Las normas de la OACI para VDL-3 son validados y el trabajo operativo en la validación y aplicación está en curso.

4.4.3 VHF Data link (VDL) Modo 4. El VDL 4 es un enlace de datos VHF el cual proporciona Comunicaciones digitales entre las aeronaves y las Estaciones en tierra. El modo VDL ha sido desarrollado para los sistemas CNS / ATM, en las aplicaciones para aviación, se incluyen las Solicitudes de emisión (por ejemplo, la ADS-B) y Comunicaciones de punto a punto (por ejemplo, la ADS-C). La mayor propiedad proporcionada por el VDL 4 es la gran capacidad de intercambio de cortos Mensajes repetitivos y su capacidad para apoyar las aplicaciones de tiempo critico.[25]

El VDL 4 transmite datos digitales de muy alta frecuencia con un espaciamiento entre canales de 25 kHz, y emplea un canal de acceso múltiple por división de tiempo (STDMA). El sistema STDMA divide las Comunicaciones en canales en segmentos de tiempo, el primero se especifica una estructura, la cual se subdivide en ranuras de tiempo. El inicio de cada una de las ranuras es una oportunidad para que la estación pueda transmitir.

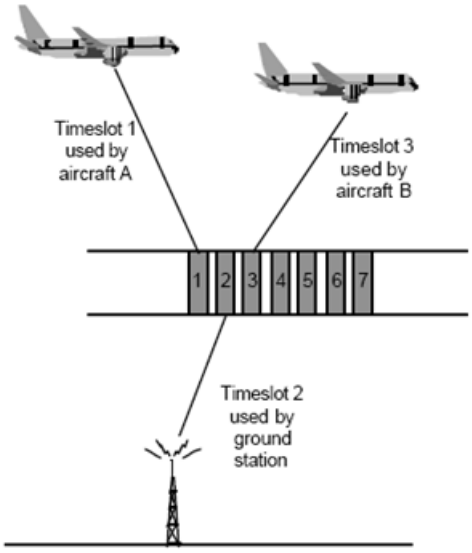
El VDL 4 es capaz de manejar Situaciones de sobrecarga, y adaptarse al tráfico en una manera segura y controlada, la característica única de VDL 4 es la forma en que el tiempo de transmisión disponible se divide en un gran número de

[25] Eurocontrol. Manual de implementacion VDL modo 4. Capitulo 1 . S.p.i P 1.

espacios de corto tiempo los cuales están sincronizados. Cada ranura de tiempo puede ser utilizada por una emisora de radio o Transpondedor para Transmisión de datos.

El exacto cronometraje entre las ranuras, y la utilización prevista para las Transmisiones son conocidas por todos los usuarios en el rango de unos a otros de modo que un uso eficiente de los enlaces de datos se pueden hacer y los usuarios no va a transmitir simultáneamente. Como resultado de Esta "auto-organización" el protocolo para el VDL 4 no requiere ninguna infraestructura terrestre Para operar y por tanto, puede apoyarla aire-aire, así como las Comunicaciones tierra-aire Y aplicaciones. El concepto se ilustra en la Figura 33

Figura 33. Ranuras de tiempo en el VDL modo 4



Fuente: [26]

- **Descripción de los servicios del VDL 4** El VDL 4 ofrece una gama de servicios de Comunicaciones digitales que apoyan muchas aplicaciones CNS /

[26] Ibíd.

ATM. El modo VDL 4 también incorpora un elemento de vigilancia, en el que todos los usuarios pueden transmitir su posición con regularidad, por lo que es posible para todos los aviones, estaciones terrestres y demás usuarios conocer la ubicación exacta de todos los demás usuarios en la a su alrededor. Esta información no solo se utiliza para gestionar el enlace de datos, sino que también hace posible una multitud de emisiones punto a punto; los protocolos de comunicación que pueden utilizarse para aplicar ADS y ADS-B-C.

- **Los servicios de comunicación** VDL 4 soporta dos tipos diferentes tipos de servicios de comunicación:

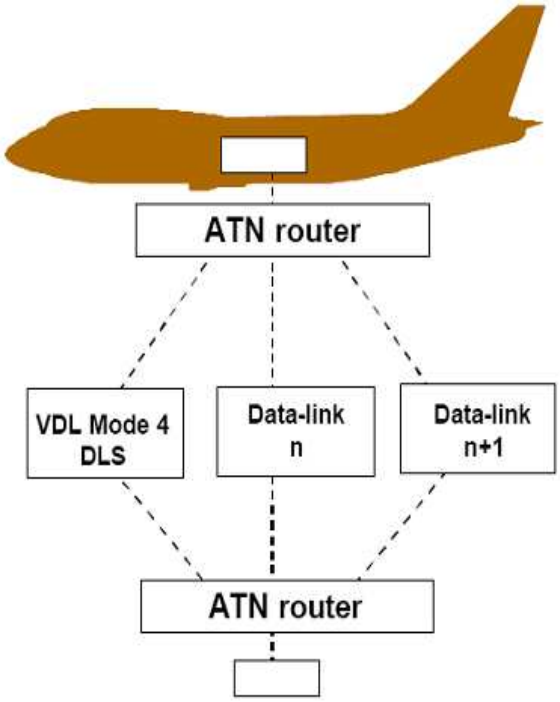
1. En el VDL 4 servicios específicos (SSV), El VDL 4servicios específicos incluyen la radiodifusión y de punto a punto (dirigida) de comunicación con un mínimo gastos para el intercambio de información de datos importantes

2. En el VDL 4 ATN servicios de enlace de datos (DLS), constituye una sub-red ATN y por lo tanto proporciona a la ATN una compatibilidad con los servicios de comunicación.

Una ventaja particular para el uso del VDL modo 4 para las Comunicaciones ATN es la reserva de Protocolos disponibles se puede utilizar para reservar tiempo de transmisión para cada mensaje. Esto reduce significativamente la probabilidad de canales de contención (es decir, cuando dos o más transmisiones intentan acceder a un canal al mismo tiempo).

En comparación con el VDL Modo 2. El resultado es una mayor capacidad en las Comunicaciones ATN, en la figura 34 se ilustra siempre utilización de una nueva frecuencia.

Figura 34. Concepto de la ATN en el VDL modo 4



Fuente: [27]

- **El uso de múltiples canales** El número de canales necesarios para apoyar los servicios de Modo VDL 4 en un área determinada dependerá de las condiciones locales y regionales, como la densidad de tráfico (que afectan al Canal de carga).[28]

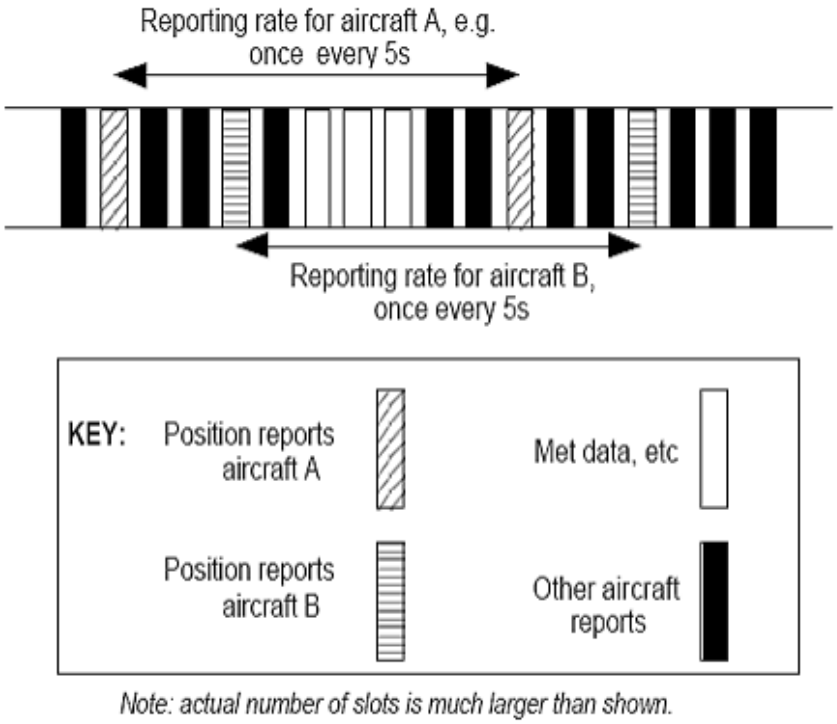
- **ADS-B** El sistema de ADS-B tiene como función usar el modo VDL 4 para la sincronizar la emisión de mensajes regulares de una aeronave, como lo son la posición, altura y tiempo, información para ser usada por los demás usuarios como lo son los demás aviones y estaciones en tierra.

[27] Ibíd. , p.4.

[28] Ibíd., . p5.

El tamaño de las ranuras de tiempo en el enlace de datos se ha adaptado con el fin de ajustarlas al sistema de informe del ADS-B. Una ranura de tiempo puede incluir diferentes elementos de información como se ilustra en la Figura 35.

Figura 35. Tiempo usado por la ranura del VDL modo 4

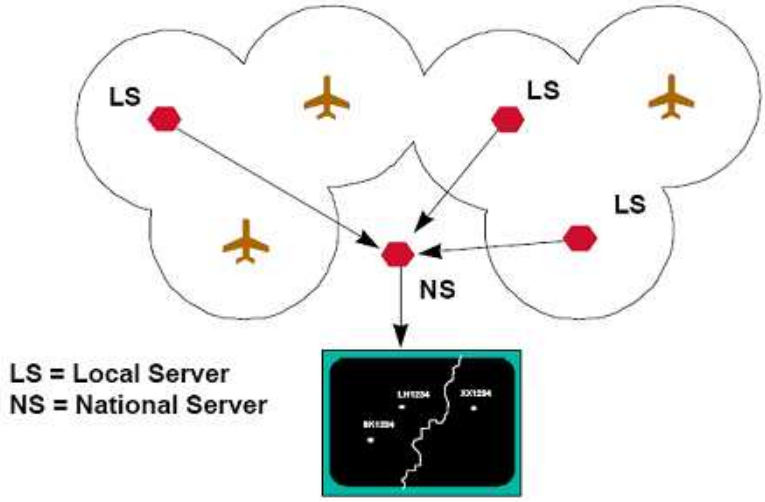


Fuente: [29]

La figura 36 muestra que el ADS-B se puede utilizar en una Gran zona geográfica mediante el uso de una red de estaciones terrestres. Los Servidores locales en las estaciones terrestres de vigilancia recopilan la información de los aviones y envía esta información a un servicio de red para su transmisión a la aplicación final.

[29] Ibíd.

Figura 36. Red de soporte en tierra para el ADS-B



Fuente: [30]

- **ADS-C** ADS-C está basado en Comunicaciones aire-tierra de punto a punto, las Comunicaciones pueden ser apoyadas por VDL modo 4 debido a que este VDL opera en la línea de banda VHF. El ADS-C requiere la presencia de una ruta ATN en el horizonte para así poder llevar la red de datos de la posición más allá del horizonte. Por lo tanto el ADS-B con su aplicación de vigilancia ofrece muchas ventajas de eficiencia y capacidad de autonomía como se puede apreciar en la figura 36. [31]

- **Operaciones de Búsqueda y Salvamento (SAR)** En las operaciones de búsqueda y Rescate (SAR), la utilización del VDL modo 4 podría ut proporcionar servicios de apoyo y vigilancia, por ejemplo: suministro de información general en alguna situación para la coordinación de las actividades de búsqueda y vigilancia; el sistema proporciona la última posición conocida por la aeronave, ayuda a obtener una panorámica visual más clara del terreno.

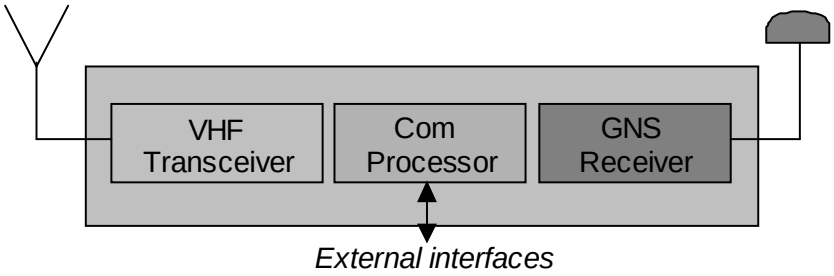
[30] Ibíd. , p.6

[31] Ibíd. , p. 7

- **Gestión de la flota** Compañías aéreas pueden beneficiarse de la disponibilidad de datos ADS-B para el seguimiento de las aeronaves. La zona geográfica para que las compañías aéreas puedan vigilar las aeronaves es aquella zona que esta cubierta por la red de comunicación ADS por lo general los aeropuertos se encuentran cubiertos para la transmisión de datos, como las compañías aéreas requieren un nivel alto de seguridad en sus transmisiones de datos, el ADS-B se vería restringido en ese momento es apoyado por el VDL-4 el cual incluye el AOC (cockpit data comunicatios).

- **DESCRIPCIÓN Y PRINCIPIOS DE OPERACIÓN** Cada usuario del sistema (avión, y aeropuerto) está equipado con un transpondedor para la determinación de la posición y el tiempo de la gestión de las transmisiones en el enlace de datos y para la transmisión y recepción de datos.

Figura 37. Transponder VDL modo 4



Fuente: [32]

Figura anterior muestra la arquitectura de un principio básico del Transpondedor para el Modo VDL 4. Este principio de la arquitectura es la misma para los usuarios de suspensión en el aire y en tierra. [33]

[32] Eurocontrol. Manual de implementacion VDL modo 4. Capítulo 2 . S.p.i P 8

[33] Ibíd., P 8

Arquitecturas de aplicación real puede diferir de la que se ilustra en la figura 37. Si bien una instalación en una aeronave de Aviación General (GA) puede incluir un solo Transpondedor integrado en la caja común con esta arquitectura, su instalación en un transporte aéreo (AT) aeronave puede, por ejemplo, emplean un receptor externo o el uso de GNSS de navegación y el tiempo Aportaciones de los sistema de navegación. Un avión de AT casi seguro que utilizar el equipo para la duplicación de redundancia, y pueden utilizar múltiples antenas VHF conjuntos y apoyo que han prestado a la capacidad de comunicación. Una estación terrestre fija puede incluir una referencia receptor GNSS para la generación de enlaces ascendentes de aumento.

Receptor GNSS El receptor GNSS proporciona información en tiempo y posición en todo el mundo. Ambos elementos son esenciales para el funcionamiento del sistema. Normalmente, el tiempo los insumos se obtienen de los GNSS, pero se puede obtener de otra Fuente:, como un reloj atómico de a bordo.

Transceptor de VHF El transceptor de VHF se utiliza para la comunicación de las aeronaves y la obtención de la posición y otra información relevante para los demás usuarios (incluyendo las estaciones terrestres), y recibir los datos de otros usuarios. El transceptor es capaz de funcionar con un espaciamiento de 25 kHz entre canales.

- **Spectrum** EL VDL 4opera en la banda del espectro aeronáutico VHF de 108-136.975 MHz La discriminación realizada por el VHF es la propiedad que permite que una estación seleccione la superposición más fuerte de dos señales de tal forma que es más fácil la reutilización eficiente de las franjas horarias y del espectro.

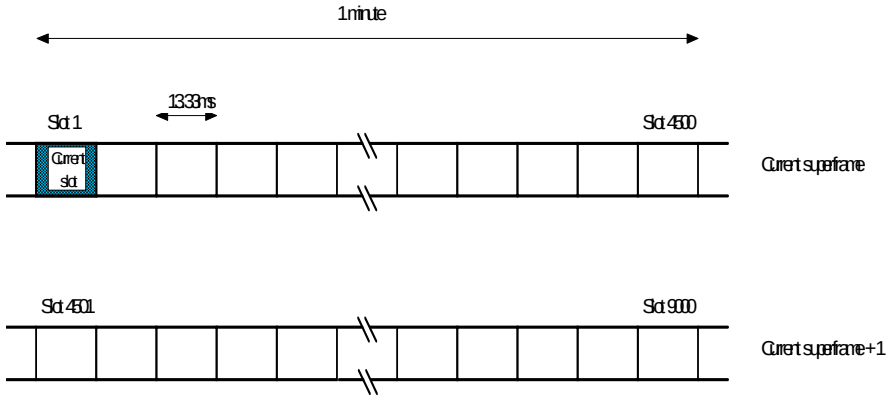
Un par de los canales de señalización Global (GSC) se asignarán para el uso en todo el mundo. Estos canales serán suficientes para apoyar un soporte al ATM en la mayoría de las áreas del mundo, pero tal vez tenga que ser complementado por los canales locales de señalización (LSC) necesarios en zonas de alta densidad de los aeropuertos a fin de complementar la GSCs para ADS-B, y existe una gran probabilidad de adicional canales de VHF los cuales son necesarios para el enlace ascendente y descendente para la aplicación de datos.

Principios para la asignación de canales en el VDL modo 4 están aún por desarrollarse. La Frecuencia de las técnicas de gestión debe utilizarse a la hora de determinar el conjunto de frecuencias VHF física en una determinada área, teniendo en cuenta el co-canal y canal adyacente interferencia (CCI / ACI) características de los transmisores VDL Modo 4.

- **MODULACIÓN DE VDL MODO 4** El modo VDL 4 está apoyado por el Gauss-Frequency Shift Keying (GFSK) con una tasa de modulación de 19200 bits / seg, con la modulación GFSK es posible tener la estimación de ruido, para lograr esto el receptor del VDL 4 utiliza un algoritmo de detección de energía como uno de los medios para determinar el estado del canal (inactivo u ocupado) Sin embargo, debido a que el ruido de fondo no es una constante, es necesario un estimador.

- **Marco de la estructura (STDMA)** En el modo VDL 4, el canal de tiempo se divide en ranuras de tiempo de longitud fija. A "superframe", que es un importante término usado en el VDL Modo 4, los canales de gestión, consiste en un grupo de las franjas horarias que se extienden durante un período de 60 segundos. El superframe contiene 4500 ranuras (equivalentes a 75 ranuras por segundo). Esto se ilustra en la Figura 38.

Figura 38. GFSK superframe



Fuente: [34]

Cada ranura de tiempo es accesible para la recepción o la transmisión por cualquier estación de la comunicación sobre el enlace de datos. Un informe de posición ocupará una ranura de tiempo en el enlace de datos. Otras transmisiones pueden ocupar más de una ranura depende de la aplicación. La longitud máxima permitida de una transmisión es de 1 segundo. Una transmisión de longitud máxima puede abarcan hasta 75 ranuras.

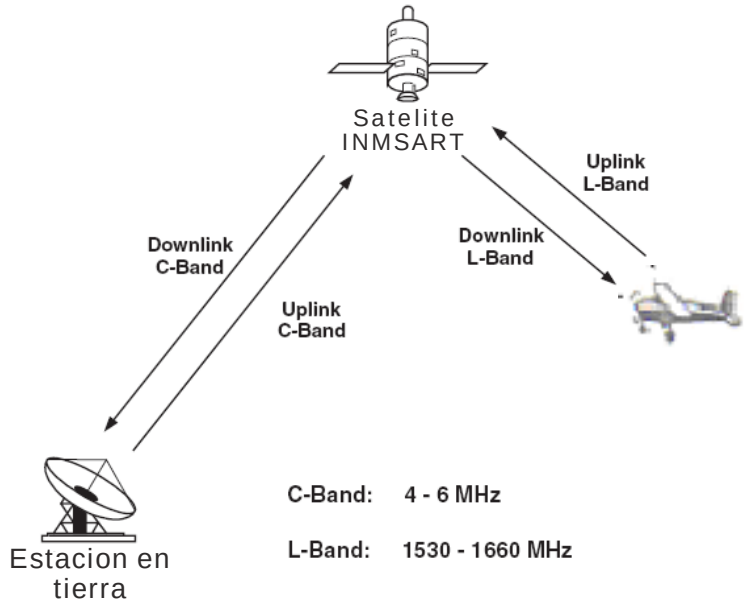
Sistema de tiempo VDL 4 requiere tiempo para la sincronización básica de acceso a la estación sin mutua interferencia. El tiempo estándar para VDL 4 es Tiempo Universal Coordinado (UTC). El tiempo se basa principalmente en la GNSS pero otras Fuente:s pueden ser utilizadas siempre que pueda estar relacionado con UTC. El concepto del tiempo para el VDL 4 está diseñado para satisfacer las más estrictas condiciones de precisión, disponibilidad, continuidad e integridad necesarias para la aviación.

[34] Ibíd. , p.8

4.5 SISTEMAS NUEVOS O EN PRUEBA NAVEGACIÓN

4.5.1 COMUNICACIONES satelitales (Satcom). Las Comunicaciones por satélite proveen un método más seguro de las Comunicaciones usando la constelación de satélite de la “International Maritime Satellite Organisation” (INMARSAT) que fue desarrollada originalmente para el uso marítimo. Ahora las Comunicaciones de satélite, abreviado a SATCOM, moldean un componente útil de las Comunicaciones de espacio aéreo. Además hay sistemas de satélites militares dedicados y seguros no mencionados por los libro por razones obvias de seguridad. En este documento se hará mención de, SATCOM cuando usa principios para ATM y también cuando es usado en conjunción con la “global air transport management” (GATM) descrito más adelante.

Figura 39. Satcom principio de operación



Fuente: Military Avionics System. S.p.i P7

El principio de operación de SATCOM es mostrado en la figura 39. La aeronave se comunica por la constelación de INMARSATy de ahí con la estación en tierra por medio de los mensajes de subida o de bajada (uplink o dpwlink) C-band , es to siempre y cuando este en la cobertura del satélite.

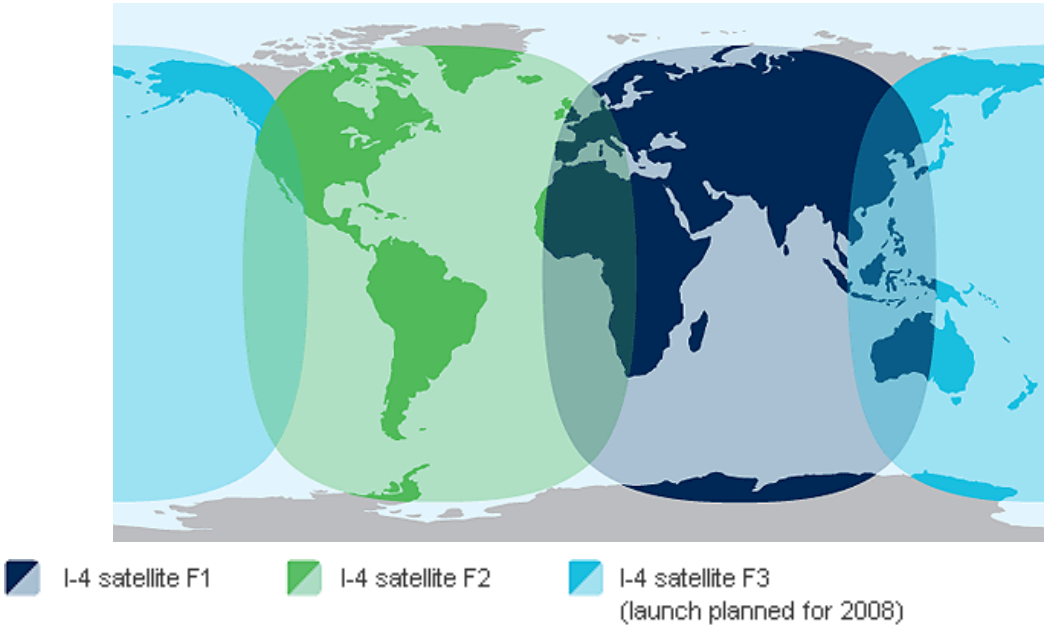
SATCOM y enlaces de datos de HF o HFDL en la actualidad son utilizados íntegramente por las comunidades de aviación, marítimas y civiles. La misma capacidad de transmisión están abiertas a al comunidad militar, excepto que en muchos casos será requerida la protección de datos o encriptación dependiendo de la sensibilidad del contenido de mensaje. Por lo tanto, muchos sistemas de Comunicaciones militares son diseñados incluyendo dispositivos de encriptación o de descifre en la fase inicial, entre el procesador y transmisor se reciben los elementos. Usando la apropiada "Llave" de encriptación, los niveles necesarios de seguridad pueden ser conseguidos dependiendo de la sensibilidad del contenido de mensaje.

La terminal de SATCOM a bordo transmite sobre el rango de frecuencias de 1626.5 - 1660.5 MHz (esta en el rango de UHF 300-3000 MHz con longitud de onda de 1m-100mm) y recibe los mensajes sobre las frecuencias en el rango 1530.0 - 1559.0 MHz Sobre la potencia de subida, la unidad de radio-frecuencia (RFU) escanea en conjunto guardado las frecuencias y localiza la transmisión del satélite apropiado. La aeronave entra a la red del sistema a la de la estación de tierra con el propósito de que cualquier estación de suelo pueden ubicar la aeronave. Una vez conectado al sistema, las Comunicaciones entre la aeronave y cualquier usuario podrían comenzar. El satélite conectar a tierra –mediante lenguaje C como el que transmitió hacia satélite.

La cobertura brindada por la constelación de INMARSAT es de un total de cuatro satélites. Además los satélites son planificados para ser lanzados el mes de marzo

o abril del 2008. Los satélites de INMARSAT son puestos en órbita geoestacionaria encima del ecuador en las ubicaciones indicadas en Figura 40 proporcionando una cobertura del 95% de la superficie de la tierra a excepción de los extremos de las regiones polares. Entre satélites de 1ª y 2ª generación cuentan con 10 satélites que cubren distintas tareas.

Figura 40. Reposicionamiento de satélites



Fuente:. Inmarsat [articulo internet]
http://www.inmarsat.com/Support/Coverage/Aero_classic.aspx?language=EN&textonly=False. [Consulta: 30 mayo 2008]

Tabla 13. Configuraciones de SATCOM

Configuración	Capacidades
AERO –H/H+	Alto Beneficio. Aero H brinda una alta-ganancia y suministrar una capacidad mundial además es usado por aeronaves de largo-rango. Aero – H+ fue un intento de bajar el gasto usando menos recursos satelitales. Suministra datos en la cabina de piloto, voz en cabina piloto y servicios de voz para los pasajeros.
AERO-I	Beneficio intermedio: AERO-I ofrece servicio similares a los de AERO-H/H+ para aeronaves de medio y corto rango. AERO-I usa servicios de Spot Beam.
AERO-C	Versión que permite que los pasajeros envíen y reciban mensajes digitales desde un PC
AERO-M	Canal simple de SATCOM capacidad para usuarios de aviación general.

Como se mostraba en la figura 40 la ubicación de los satélites es de la siguiente forma:

Dos satélites están posicionados sobre el atlántico: AOR-W a 54º al oeste y AOR-E 15.5º al oeste.

Un satélite esta posicionado sobre el océano atlántico: IOR a 64º al este.
Un satélite esta posicionado sobre el océano pacifico POR a 178º al este.

La cobertura general es ofrecida sobre el espacio ocupado de cada uno de estos satélites. Además hay un modo Spot Beam que provee la cobertura a la mayor parte de la masa de región que reside bajo cada satélite. Esta cobertura de Spot

Beam está disponible para proveer la cobertura a sistemas de capacidad que no requieren la cobertura oceánica general.

La naturaleza geoestacionaria de los satélites imponen algunas limitaciones, debido a los ángulos que se deben tener para una buena cobertura, por ejemplo la cobertura se comienza a degradar mas allá de los 80º norte y de los 80º sur, y incompleta perdida de la señal más allá de los 82º. Por lo tanto, ninguna cobertura existe en las extremas de las regiones polares, un hecho que asume más prominencia cuando las aerolíneas tratan de ampliar rutas por los polos. Una segunda limitación se puede presentar afectando el desempeño a los sistemas a bordo de la aeronave en términos de las limitaciones de la instalación de la antena. Sin embargo, SATCOM provee sistemas a bordo muy eficaces además proveerá componentes muy importantes para los futuros FANS.

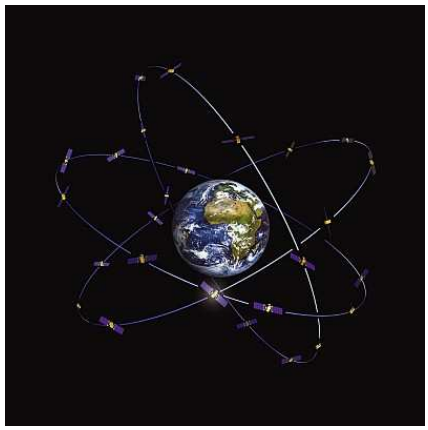
El número de los diferentes sistemas ofrecidos por SATCOM son nombrados en la tabla 13, y los sistemas tipo de SATCOM comprenden las siguientes unidades:

- Unidad de Datos del Satélite (SDU).
- Unidad de Radio-Frecuencia (RFU).
- Amplificador, diplexers/splitters.
- Antena Low-gain
- Antena High-gain.

4.5.2 Galileo es el Sistema de Posicionamiento Global de la Unión Europea. Está diseñado con fines civiles y con el propósito de ser compatible e interoperable con los sistemas actuales de forma que un mismo receptor sea, en un futuro, capaz de recibir los tres sistemas.

Hoy en día, el empleo de esta tecnología de navegación por satélite está en auge, estando llamada a ser uno de los pilares de la sociedad futura: el conocimiento preciso de la posición de las personas y objetos en el espacio y en el tiempo, da lugar a multitud de aplicaciones que van desde una mejor gestión del tráfico aéreo, marítimo, y terrestre, hasta aplicaciones sociales de búsqueda y salvamento en situaciones de emergencia.

Figura 41. Sistema de navegación Galileo



Fuente: source Pildo Galileo. [Articulo de internet] http://www.galileoic.org/la/?q=node/95 [consulta: 19 junio de 2008]

El funcionamiento de GALILEO es similar al de sus competidores; todo se basa en una constelación de satélites que en pocas horas dan la vuelta al mundo. El corazón del sistema lo constituyen los relojes atómicos, de extremada precisión, que van a bordo de los satélites y que proporcionan una referencia de tiempo precisa para que el receptor mida el tiempo que tarda la señal en llegar desde el satélite (en 1 segundo recorren 300.000.000 metros).

Midiendo la distancia a tres satélites se puede deducir la posición del receptor a partir del conocimiento de la posición de los satélites, la cual es controlada en todo momento por las estaciones de control y seguimiento del sistema. En la práctica

se requiere un cuarto satélite para corregir los errores de sincronización de los relojes.

GALILEO es por tanto un sistema de posicionamiento global que permite al usuario determinar con elevada precisión su posición en el espacio y en el tiempo. En otras palabras, permite conocer las coordenadas de un punto sobre la tierra y el instante preciso de tiempo en el que se encuentra, lo que constituye la base de cualquier sistema de navegación.

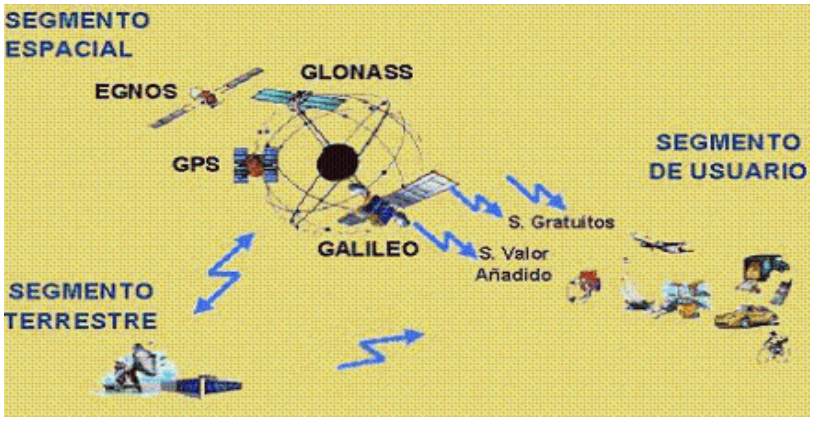
La componente espacial de GALILEO está constituida por 30 satélites repartidos en tres planos orbitales de 23.600 Km. de altura y 55º de inclinación, diseño que mejora su cobertura en latitudes extremas (cerca de los polos) con respecto a los sistemas actuales. El sistema se complementa con una serie de estaciones terrestres encargadas de controlar y gestionar la constelación, así como de proporcionar servicios de valor añadido como datos de integridad, servicios de búsqueda y rescate e incluso información comercial.

GALILEO abarca a un gran número de usuarios, cada uno de los cuales demanda unas determinadas prestaciones: por ejemplo, el excursionista que pasea por el campo no requiere las mismas exigencias de disponibilidad del sistema o precisión que el avión o el barco que navega hacia su destino. Para satisfacer necesidades tan variadas, GALILEO ofrecerá varios niveles de servicio, establecidos de forma preliminar en junio de 2001, que básicamente pueden ser agrupados en dos categorías:

Un nivel básico de acceso libre y gratuito para aplicaciones de interés general, con prestaciones similares a las ofrecidas por el sistema GPS.

Niveles de acceso restringido para aplicaciones comerciales y profesionales, con prestaciones superiores, proporcionando servicios de valor añadido.

Figura 42. División de segmentos.



Fuente: [35]

Arquitectura de Galileo

- **Componente Global** La componente global del sistema GALILEO estará formada por el segmento espacio, (constelación de satélites), y el segmento terreno asociado a la constelación.

La constelación de satélites resulta ser la columna vertebral del sistema. Aunque se requiere un mínimo de 4 satélites para determinar la posición y el instante o tiempo real en el que se encuentra un de un móvil, las prestaciones del sistema mejoran a medida que el número de satélites “visibles” captados por el receptor aumentan. Por ello, aunque se consideraron diferentes tipos de órbitas y constelaciones, (24 satélites en órbitas de media altura y 8 satélites geoestacionarios), finalmente se ha optado por una constelación MEO (órbita media terrestre) de 30 satélites.

[35] Ibíd.

De los estudios efectuados se dedujo que las constelaciones basadas en satélites MEO, permitían una mayor homogeneidad de las prestaciones, tanto en precisión como en disponibilidad y mejoraban el comportamiento para latitudes elevadas (zonas septentrionales de Europa), en caso de fallo de alguno de los satélites. Por el contrario, la constelación híbrida formada por satélites MEO y GEO sufría una pérdida acusada de prestaciones, cuando uno de los satélites GEO fallaba.

De los 30 satélites de la constelación, que estarán distribuidos en tres planos orbitales, 27 estarán operativos mientras que los 3 restantes permanecerán en reserva, para entrar en servicio en caso de fallo de uno de los satélites operativos. Habrá por tanto un satélite de reserva por cada plano orbital.

Los planos orbitales contarán con una inclinación de 56º, (órbitas directas). Esta alta inclinación permitirá una cobertura de muy buena calidad en latitudes extremas, (hasta 75º).

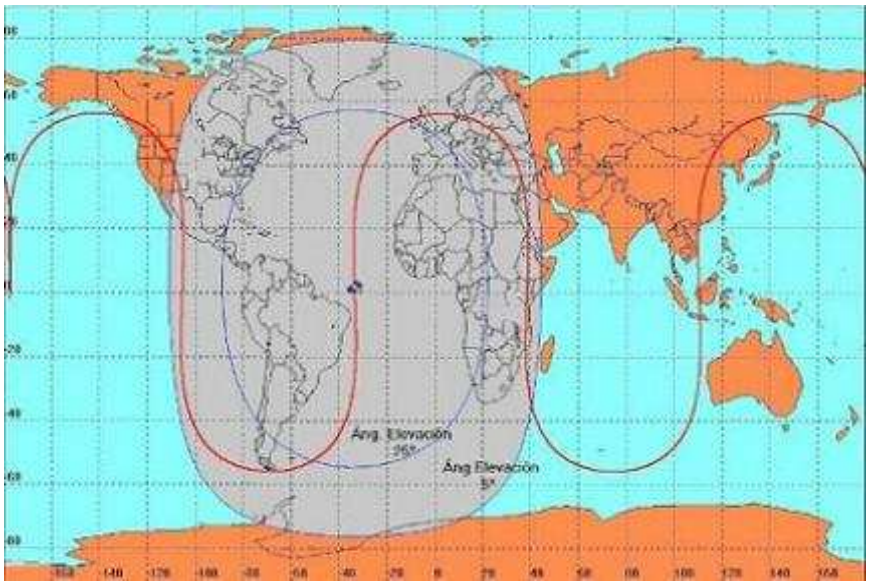
Las órbitas de todos los satélites serán circulares de 23.600 Kms de altura sobre la superficie terrestre, (semieje mayor de 29.900 Km y periodos orbitales ligeramente superiores a las 14 horas).

La carga de pago de cada satélite (» 100 Kg), estará formada por un equipo para la navegación, así como un transpondedor para los servicios de búsqueda y rescate. En la actualidad se está estudiando la posibilidad de incluir una carga de pago dedicada a los servicios de Comunicaciones relacionados con la Navegación.

Los satélites GALILEO serán de un tamaño medio, con un peso en órbita próximo a los 650 Kg y con un subsistema de potencia capaz de generar 1.5 Kw. La masa, geometría y dimensiones de los satélites deberán permitir la optimización del

despliegue de la constelación mediante lanzamientos múltiples, es decir, contar con la posibilidad de que un mismo lanzador sea capaz de poner varios satélites en el mismo plano orbital en un solo lanzamiento. Por ello, la elección del lanzador dependerá de la capacidad óptima de carga o número de satélites, de la fiabilidad y del coste y garantías.

Figura 43. Componente global de Galileo



Fuente:[36]

Traza de un solo satélite Galileo y distintas zonas de visibilidad para 5º y 25º de ángulo de máscara

En cuanto al segmento terreno, será el encargado de:

1. Gestionar la constelación de los satélites y controlar los principales parámetros de navegación: determinación orbital de los satélites y sincronización de los relojes.

[36] Ibíd.

2. Determinar y difundir, mediante los propios satélites de la constelación, los datos de integridad, es decir, los avisos de alerta de mal funcionamiento del sistema dentro de los intervalos de tiempos de aviso requeridos.

3. Proveer los interfaces necesarios tanto con los centros de servicios que proporcionan servicios comerciales, como con el segmento terreno del Sistema COSPAS-SARSAT que proporciona servicio de Búsqueda y Salvamento.

La estructura del segmento terreno del sistema Galileo, puede dividirse en dos grandes componentes:

Segmento terreno principal, dedicado a la gestión de la constelación y al control de la navegación.

Segmento terreno complementario, dedicado a la determinación y difusión de la integridad del sistema.

El segmento terreno principal estará formado por el Centro de Control de Navegación del Sistema NSCC, la red de Estaciones de Sincronización y Determinación Orbital OSS y las estaciones remotas encargadas de llevar a cabo la comunicación y seguimiento de los satélites para el envío de Telecomandos y la recepción de la Telemetría TTC.

1. Las estaciones de Sincronización y Determinación Orbital OSS, serán las encargadas de recibir las medidas de pseudo-range referenciadas a los relojes atómicos locales y los mensajes de navegación, transmitidos desde todos los satélites de la constelación visibles y enviarlos junto con los datos meteorológicos locales al NSCC.

2. El centro de Control de Navegación del Sistema NSCC, será el encargado de procesar los datos recibidos del OSS para obtener las efemérides de los satélites, los desfases de los relojes y la evolución de los parámetros orbitales. En el NSCC también se determinará el tiempo de referencia del sistema GST (Sistema de Tiempo de Galileo), así como el desfase entre tiempos con el UTC (Tiempo Universal Coordinado) y el TAI (Tiempo Atómico Internacional).

3. Finalmente las estaciones de TTC son las encargadas de mantener la comunicación con la constelación, recibiendo la telemetría de cada uno de los satélites y enviando los tele-comandos y los datos calculados en el NSCC.

El segmento terreno complementario, será el encargado de proveer la integridad del sistema, parámetro fundamental para la prestación de alguno de los servicios requeridos como es el caso de las aplicaciones críticas de seguridad. Estará formado por una red de Estaciones para el seguimiento de la Integridad IMS, un Centro de Control de la Integridad ICC y una serie de estaciones remotas encargadas de comandar la integridad a los satélites de la constelación IULS.

1. Las Estaciones para el seguimiento y monitorización de la Integridad IMS, serán las encargadas de recibir los datos necesarios para la determinación de la Integridad, que junto con los datos meteorológicos locales y otros datos auxiliares, serán enviados al ICC.

2. El Centro de Control de la Integridad ICC, será el encargado de determinar la integridad del sistema a partir de los datos recibidos del IMS, mediante métodos estadísticos. Los mensajes de Integridad serán enviados entonces a las IULS para su difusión.

3. Las estaciones IULS serán las encargadas de difundir los datos de integridad recibidos del ICC, enviándolos a los satélites de la constelación que los incluirán en su mensaje de navegación, para ser transmitidos a todos los usuarios.

Figura 44. Segmento espacio, constelación 30 satélites



Fuente:[37]

- ***Componente Regional*** Aunque el sistema será de cobertura mundial y la integridad se distribuirá también a escala mundial, Galileo se ha diseñado de forma que se permite la introducción de un máximo de 8 componentes regionales, que podrán "personalizar" su propia integridad. Esta componente del sistema estará formada por redes de estaciones complementarias que vigilarán la integridad de las señales y los centros de procesamiento de datos que ofrecerán el servicio.

[37] Ibíd.

La componente regional del sistema estará formada por:

1. Componentes regionales no Europeas del sistema Galileo. Segmentos terrenos dedicados a la determinación de la integridad sobre áreas específicas que no adopten los valores de la integridad global de Galileo. El despliegue y operación de estas componentes será responsabilidad de los proveedores de servicio de cada región. Los datos de integridad podrán ser transmitidos a la constelación de satélites directamente desde cada región, o a través del segmento terreno de la componente global.

2. El sistema EGNOS proporcionará datos de integridad regional con las correcciones diferenciales que lleve a cabo sobre la medición de las señales GPS y GLONASS. Estas correcciones se enviarán mediante los satélites Geoestacionarios correspondientes a la región Europea.

- ***Componente Local*** Algunos usuarios pueden demandar localmente prestaciones más exigentes que las proporcionadas por el sistema global. Para que se entienda, el aterrizaje de una aeronave en un aeropuerto requiere una mayor precisión (del orden del metro o incluso inferiores) que la necesaria para ir de aventura por la montaña. Igualmente, la integridad de la señal puede requerir u tiempos muy cortos de alarma de mal funcionamiento del sistema (del orden de un segundo para aplicaciones de aviación civil) sobre todo en aplicaciones en las que se pone en juego la vida humana.

Las prestaciones que podrán proporcionar los servicios locales serán:

Datos comerciales, como bases de datos, mapas y correcciones.
Señales de navegación adicionales.

Mejora de los datos de posición en áreas con una recepción de señal pobre, (ciudades, subterráneos...), mediante cálculos de posición basados en estaciones GSM o UMTS.

- ***Canales de comunicaciones móviles.*** Para un sector como la aviación, la existencia de una componente local que ofrezca servicios de aterrizaje adaptado a las condiciones meteorológicas de Europa, es un aspecto muy importante a la hora de racionalizar las infraestructuras existentes. Por ello, la Comisión Europea se ha comprometido a llevar a cabo estudios técnicos y económicos e incluso, si se demuestra la viabilidad del sistema, facilitar la organización de un servicio local mediante las estructuras creadas.

Por todas estas razones, el diseño de la señal de Galileo se condiciona a la necesidad de dar un soporte en las operaciones de carácter local.

- ***Segmento Usuario*** Existe un gran abanico de usuarios de Galileo, cada uno de los cuales demanda sus propios requisitos de servicio.

Prestaciones y costes competitivos con los sistemas existentes.

Flexibilidad para su adecuación a las necesidades de los distintos tipos de usuarios.

Posibilidad de evolución e integración de nuevos servicios.
Posibilidad de utilización multimodal.

- ***Centros de Servicio*** Proporcionarán el interfaz del sistema Galileo con los usuarios y además suministrarán servicios de valor añadido (incluyendo los de las componentes locales).

Dependiendo de la categoría del servicio, el centro de servicios podrá proveer de:

Información y garantía de las prestaciones y datos proporcionados.
Gestión de las claves de acceso a los distintos servicios.
Información y gestión sobre seguros y responsabilidades.
Información sobre certificaciones y licencias.
Interfaces comerciales.
Apoyo en el desarrollo de las aplicaciones.

4.5.3 GLONASS GLOBAL POSITIONING SYSTEM Este sistema es desarrollado por Rusia y que representa la contrapartida al GPS estadounidense y al futuro Galileo europeo, este sistema consta de una constelación de 24 satélites (21 en activo y 3 satélites de repuesto) situados en tres planos orbitales con 8 satélites cada uno y siguiendo una órbita inclinada de 64,8º con un radio de 25510 kilómetros. La constelación de GLONASS se mueve en órbita alrededor de la tierra con una altitud de 19.100 kilómetros (algo más bajo que el GPS) y tarda aproximadamente 11 horas y 15 minutos en completar una órbita.

El sistema ruso es también operativo, y a pesar de que actualmente la constelación no está completada, proporciona a los usuarios civiles unas precisiones en el posicionamiento absoluto típicamente mejores que las que proporcional el sistema de GP, debido a la aplicación de la degradación intencionada de la información denominada disponibilidad (SA).

- **Sector de control** está conformado por un sistema central de control (SCC) en la región de Moscú y una red de estaciones de seguimiento y control alrededor de toda Rusia. El sector del control GLONASS es igual que el de GPS debe seguir y vigilar el estado de sus satélites, determinar los errores de os relojes de los satélites mirando la diferencia entre el tiempo GLONASS y la escala de tiempo

UTC. Además también deben actualizar los datos de navegación de los satélites. Estas actualizaciones se realizan dos veces al dia.

Las estaciones de control (CTSs) realizan el seguimiento de los satélites y almacenan los datos de distancias y telemetría a partir de las señales de los satélites. La información obtenida en las CTSs es procesada en el sistema central de control para determinar los estados de las orbitas y relojes delos satélites, y para actualizar el mensaje de navegación de cada satélite. Esta información es enviada a cada satélite por medio de las CTSs. Las CTSs calibran periódicamente los datos de distancia a los satélites mediante laser. Para ello, los satélites GLONASS van provistos de unos reflectores especiales.

La sincronización de todos estos procesos en el sistema GLONASS es muy importante. Para conseguir esta sincronización, se dispone de un reloj atómico de hidrogeno de alta precisión, el cual determina la escala de tiempo GLONASS.

- **Sector espacial** el sector está formado por la constelación de satélites. La constelación completa se compone 24 satélites en tres planos orbitales, cuyo nodo es de 120 grados y argumento de latitud de 15 grados. Cada plano contiene 8 satélites espaciados regularmente, con argumento de latitud de 45 grados. Los planos están inclinados 64, 8 grados respecto al ecuador. Los satélites GLONASS se encuentran a una distancia de aproximadamente 19100 Km y se situan en orbitan casi circulares con semieje mayor de aproximadamente 25510 Km, siendo el periodo orbital de 675,8 minutos, es decir, 11 horas y 15 minutos. Esto garantizar, con la constelación completa, la visibilidad de un mínimo de 5 satélites en todo el mundo con adecuada geometría, es decir, la constelación GLONASS proporciona una cobertura de navegación continua y global para la ejecución satisfactoria de observaciones de navegación. Cada satélite transmite una señal

de navegación de radiofrecuencia, conteniendo un mensaje de navegación para los usuarios.

- **Señal** el sistema GLONASS transmite dos señales en la cobertura del espectro en la banda L. Esta es la principal diferencia con los GPS ya que ellos funcionan solamente en una sola frecuencia. Los satélites del GLONASS están distinguidos por canales de radiofrecuencias a los cuales se les denomina (Acceso de Frecuencia de División Múltiple). Así se tiene las siguientes frecuencias en la banda L.

Frecuencia banda L1: f1(k) = 1602 MHz + k * 9/16 MHz
Frecuencia banda L2: f2(k) = 1246 MHz + k * 7/16 MHz

Actualmente están en vigencia estas frecuencias

1998-2005: 1602 - 1608.8 MHz
1246 - 1251.25 MHz

A partir de 2005: 1598.1 - 1604.25 MHz
1242. 9 -1247.75 MHz

El sistema transmite en cada uno de sus satélites un código denominado C/A (Coarse Adquisition) para uso civil y el P (Code Precision) para uso militar, los Cuales son la mitad de precisos que el GPS.

La constelación ha experimentado un gran progreso desde los años 1994 y 1995, los planes de GLONASS son ofrecer dos niveles de servicio:

- **El Channel of Standard Accuracy (CSA)**, similar al Standar Positioning Service (SPS) del Sistema GPS, disponible para uso civil.

- **El Channel of High Accuracy (CHA)**, similar al Precise Positioning Service (PPS) del Sistema GPS, disponible solo para usuarios autorizados.

La Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO) aceptó formalmente en Julio 1996, el uso de GLONASS / CSA para uso en aviación civil, como ya se hizo en 1994 con el GPS / SPS.

El mensaje de navegación GLONASS transmite señales a diferentes frecuencias, hay dos problemas principales los cuales afectan el cálculo de ambigüedades en la fase portadora.

- **Errores**:

1. Cada una de las señales del GLONASS puede ser demorada a través de la antena, los cables o filtros en el receptor, para el GPS las demoras son identificables porque las señales son identificables en la misma frecuencia y entonces ellas simplifican los errores del reloj.

2. El hecho de que las medidas son hechas a tiempos ligeramente diferentes. GLONASS emplea dos mensajes de navegación que van sumados a los códigos C/A y P respectivamente.

Las efemérides GLONASS están referidas a los Parámetros de la Tierra 1990 o PZ-90 Tabla 14. Este sistema reemplazó al SGS-85, usado por GLONASS hasta 1993.[38]

Tabla 14. Parámetros del Datum PZ-90.

Parámetro	Valor
Rotación de la Tierra	$72.92115 \cdot 10^{-6}$ rad/s
Constante Gravitacional	$398600.44 \cdot 10^{9}$ m^3/s^2
Constante Gravitacional de la atmósfera	$0.35 \cdot 10^{9}$ m^3/s^2
Velocidad de la luz	299792458 m/s
Semieje mayor del elipsoide	6378136 m
Aplanamiento del elipsoide	1 / 298.257839303
Aceleración de la gravedad en el Ecuador	978032.8 mgal

Fuente:[39]

- **El sistema de tiempo** Cada satélite del sistema está equipado con relojes atómicos de cesio que son corregidos dos veces al día, lo que permite una precisión de 15 nanosegundos en la sincronización de tiempos de los satélites respecto al Sistema de Tiempos GLONASS (GLONASS) el cual es generado en la Central de Sincronización de Tiempos de Moscú. La diferencia del sistema de tiempos con GPS radica en que este ultimo utiliza el sistema TAI (Tiempo Atómico Internacional) el cual no tiene en cuenta la disminución de la velocidad de la tierra respecto al sol, como si lo hace el sistema UTC (CIS) bajo control del Centro Meteorológico Principal del Servicio Ruso de Tiempos y Frecuencias de Mendeleevo. Lo que implica un desfase en el sistema de GPS de 1 segundo por año, alterando la sincronización con el día solar.

[38] Serie didáctica N 4. Sistemas de posicionamiento global: sistemas GLONASS. S.p.i. P 8.
[39] Ibíd. , p.8

- **Errores del sistema GLONASS** Los sistemas GPS y GLONASS están sujetos a varios errores que afectan la precisión de la posición calculada. Estos errores en conjunto pueden estar en el rango de 10 á 25 metros, dependiendo del tipo de receptor, la posición relativa del satélite y la magnitud de otros errores.

Error ionos érico. El error más significativo se ocasiona durante el paso de la señal del satélite a través de la ionosfera de la Tierra. La ionosfera es una capa de Partículas cargadas eléctricamente, que cubre a la tierra entre aproximadamente 130 y 190 Km. sobre la superficie. Al desplazarse las señales de radiofrecuencia a través de la ionosfera, se hacen más lentas en una magnitud que varía dependiendo de la hora del día, la actividad solar y otros factores.

Error atmosférico. Se introduce otro error cuando la señal pasa a través de la atmósfera. El vapor de agua de la atmósfera hace más lentas a las señales de radiofrecuencia y reduce adicionalmente la exactitud del sistema.

- **Ventajas del sistema GPS + GLONASS** Las principales ventajas que GPS + GLONASS presenta son: Disponibilidad, Confiabilidad y Precisión.

Disponibilidad Los 24 satélites que se determinó para GPS fue pensado para tener cobertura mundial durante las 24 horas del día, pero sin considerar las obstrucciones presentes en toda las actividades cercanas a los bancos de explotación; y en otras aplicaciones tales como edificios, cerros, árboles, etc. Esta situación es especialmente complicada en las minas chilenas, ya que en muchos casos son profundos pits en que la cobertura GPS es extremadamente limitada por lo que puede ser usada sólo en algunas horas del día y en zonas muy abiertas del pit. Esto ha sido verificado en muchas oportunidades por ingenieros de GEOCOM en diferentes minas como Chuquicamata y otras, donde generalmente en el fondo del pit se puede obtener 5 satélites, que es el mínimo necesario para

obtener precisión centimétrica en tiempo real. Pero al acercarse a los bancos de explotación fácilmente se baja a 4 o 3 satélites, insuficientes para las aplicaciones mineras.

Es fácil suponer que al agregar los satélites GLONASS, duplicando así la cantidad de satélites GPS, sucederá que donde haya 5 satélites GPS se tendrá 10 satélites GPS + GLONASS y donde no se pueda medir porque apenas hay solo 3 ó 4 satélites GPS habrá de 6 a 8 satélites GPS + GLONASS, lo que permite obtener precisión centimétrica.

Confiabilidad El departamento de transporte de los Estados Unidos llegó a la conclusión que el sistema GPS por sí solo no satisface los requerimientos para un Sistema Primario de Navegación Aérea. Pero GPS + GLONASS si entregaría una solución aceptable, la cual debe cumplir con a lo menos 6 satélites durante el 99.999% del tiempo, que es el mínimo necesario para identificar y corregir cualquier anomalía que se produzca en algún satélite y así poder tener un posicionamiento altamente confiable.

Precisión GLONASS presenta la ventaja de no estar afecto a la degradación de sus señales, como lo es la Disponibilidad Selectiva en el caso de GPS. De esta manera la precisión absoluta GPS se ve restringida a 100 metros con un 95% de Probabilidad, mientras que GPS + GLONASS entrega una precisión absoluta de 16 metros.

El ISS (Institute of Satellite Navigation) a trabajado construyendo receptores con GLONASS y GPS a partir de 1982. Con la disponibilidad de receptores GPS / GLONASS, el usuario puede tener acceso a un sistema combinado de hasta 48 satélites (con la dos constelaciones completas). Con todos estos satélites, los trabajos en desfiladeros y otras localizaciones de visibilidad restringida, tales como

áreas boscosas, etc., es mejorada debido a la posibilidad de mayor información de más satélites. Además, una mayor constelación de satélites también mejora la ejecución del posicionamiento diferencial en tiempo real, ya que, el tiempo menor de toma de datos, con respecto a un posicionamiento diferencial calculado en post-proceso, se ve compensado por la obtención de una mayor información de más satélites.

- **GPS versus GLONASS** En la Tabla 15, se puede ver las diferencias entre las dos constelaciones, la estructura de la señal y las especificaciones del GPS y GLONASS para un posicionamiento preciso. Como se observa, los dos sistemas son muy similares.

En Diciembre de 1993, GPS completo su Capacidad Operativa Inicial logrando cobertura mundial en cuatro dimensiones, con 24 satélites operativos en órbita. Estos satélites no han tenido ningún problema y han superado su vida útil planeada de 5 años, llegando incluso a los 11 años de vida útil. Ellos continúan Lanzándose periódicamente y cada vez con nuevas características que robustecen al sistema GPS. Sin embargo, GLONASS ha tenido problemas importantes con la prematura pérdida de servicio de sus satélites, y el tamaño de la constelación ha quedado en cerca de 12 satélites. La red de satélites GLONASS comenzó en el año 1993 con 13 satélites operativos, luego se añadieron 3 nuevos satélites en un lanzamiento ese mismo año, pero conforme transcurrió el tiempo y la vida útil de los satélites se cumplía, el número de satélites ha ido reduciéndose. [40]

[40] Ibíd. , p.12

Tabla 15. GPS versus GLONASS

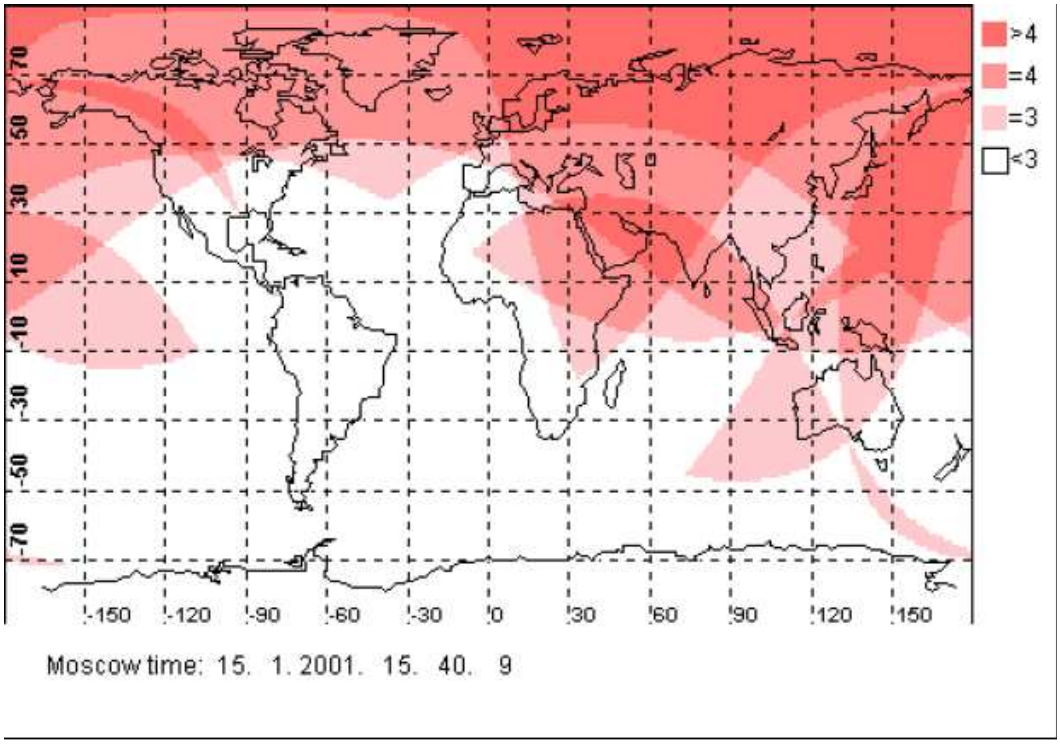
CONSTELACIÓN	GPS	GLONASS
Número de Satélites	24	24
Número de Planos Orbitales	6	3
Inclinación de la órbita (en grados)	55º	65.8º
Radio de la órbita (en Km.)	26560	25510
Periodo (hh:mm)	11:58	11:16
Retransmisión del seguimiento	Día sideral	8 días siderales
Separación de los planos orbitales	60º	120º
Señal portadora (Mhz)	L1 : 1575.42 L2 : 1227.60	L1 : 1602+0.5625n L2 : 1246+0.4375n
Código	CDMA Código C/A en L1 Código P en L1 y L2	FDMA Código C/A en L1 Código P en L1 y L2
Frecuencia del código (MHz)	Código C/A : 1.023 Código P : 10.23	Código C/A : 0.511 Código P : 5.11
Sistema de coordenadas	WGS84	PZ90
Horizontal (mts)	10-25 mts	50-70
Vertical	140	150

Fuente:[41]

- **Uso del GPS y el GLONASS conjuntamente** Los receptores duales GPS-GLONASS ofrecen mejor desempeño que los receptores individuales de cada sistema. Con los dos sistemas integrados se tiene una mayor rapidez de recepción de señales debido al mayor número de satélites en un tiempo dado y en cualquier parte. Asimismo se tiene una mayor cobertura en ambientes de muchas obstrucciones.

[41] Ibíd. , P 21

Figura 45. Cubrimiento de los satélites GLONASS (ver escala de colores).



Fuente: [42]

El GLONASS con tres planos orbitales, el GPS con seis, y la diferente inclinación de sus planos orbitales, ofrecen una disponibilidad complementaria en función de latitud. Con el GLONASS se favorecen las latitudes extremas debido al alto grado de inclinación de sus planos orbitales, mientras que con el GPS se favorecen las latitudes medias.

Un receptor con capacidad de operar con los dos sistemas ofrecerá lo mejor de ambos. En adición al aumento del número de satélites disponibles, y a la mejora de la geometría.

[42] Ibíd. . , p.22

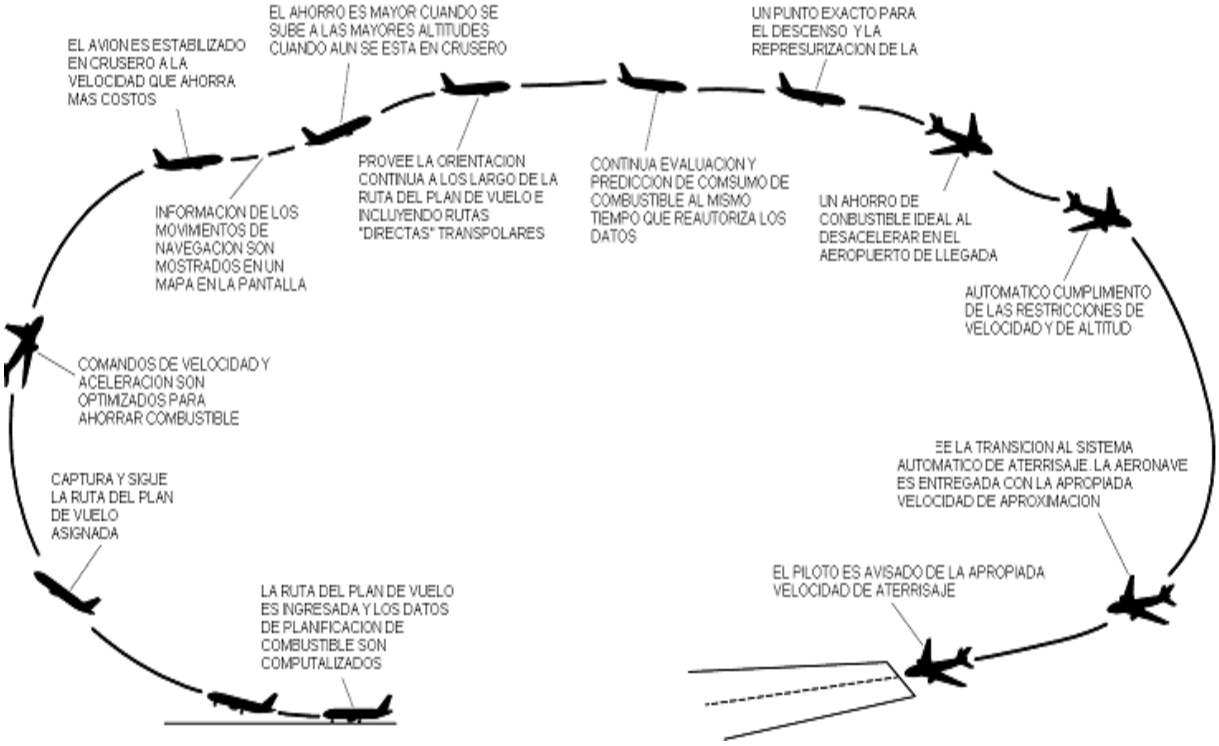
4.5.4 Fligh management system El desarrollo del FMS se encuentra desde Agosto de 1997, en la actualidad se encuentra en etapa de evolución continua. El FMS es utilizado por los pilotos para la planificación de los vuelos, navegación, gestión del rendimiento, aviones de orientación y seguimiento de los progresos de vuelo.

En el FMS se han incluido dos nuevas funcionalidades que normalmente vienen en instrumentos separados de muchos aviones. Estas son el TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) y el ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) y la gestión del combustible y Datos de Rendimiento del Avión. La gestión de combustible aún no está soportada, aunque está planeada para el futuro. Como ya ha sido nombrado anteriormente el ACARS es el que proporciona una conexión de datos entre el avión y los sistemas basados en tierra que desempeña una gran variedad de funciones, como la de recibir despachos.

El FMS se compone de: la FMC (Flight Management Computer), AFS (sistema automático de vuelo), y el sistema de navegación incluido el IRS (sistema inercial de referencia) y el GPS.

Este sistema automatizado integra sensores, a los diferentes sistemas del avión y display para dar la mayor economía con una mínima carga de trabajo. El FMS ayuda al piloto a Optimiza el plan de vuelo según los vientos y los costos de operación, ocupándolos en los detalle, sugiriendo los perfiles más económicos de ascenso, descenso, altitud de crucero, velocidad relativa al vuelo. Si el piloto selecciona el modo “manager guidance”, el FMS controla la aeronave automáticamente a través de todo el plan de vuelo, desde el despegue hasta el aterrizaje, como se muestra en la figura 53.

Figura 46. Visión general de la gestión de vuelo (FM).

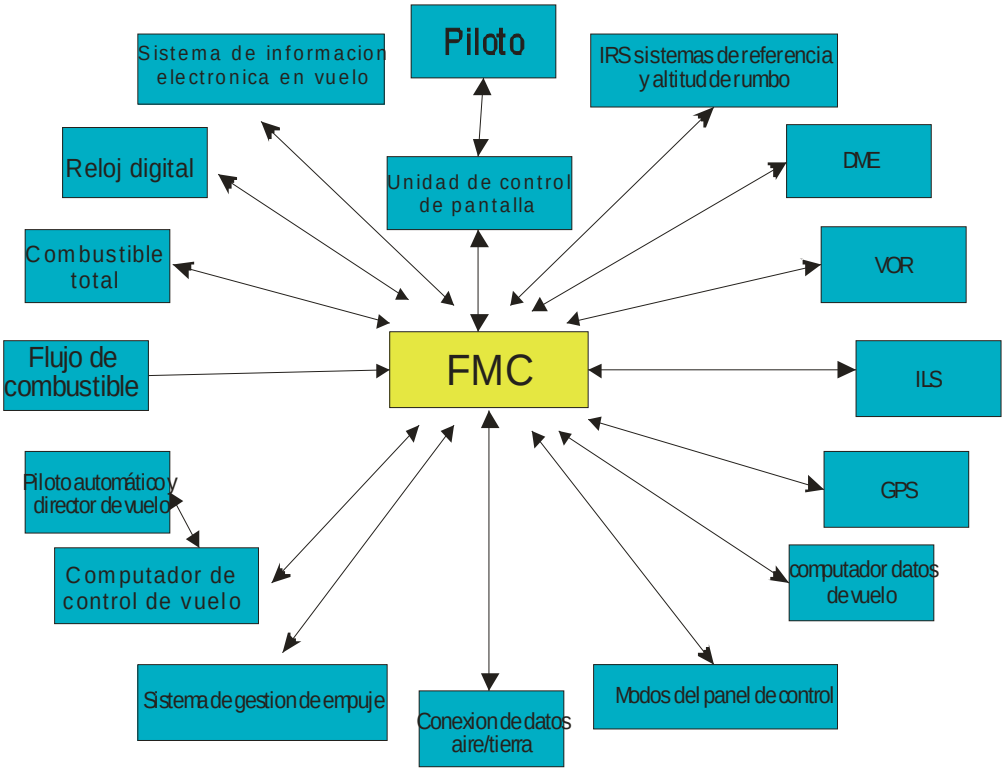


Fuente: Airbus A319/320/321 Pegasus Flight Management System Pilot's Guide, printed in USA, 2002. P 22.

- **Descripción del FMS** el FMS es una compleja gama de componentes, cuya finalidad es a
- segura la eficacia de las operaciones de vuelo. Como se ilustra en la Figura 47, el FMS se compone de aportaciones de navegación, motores y aparatos monitores de rendimiento, así como el piloto automático y la gestión de componentes. El núcleo de la FMS es la FMC.[43]

[43] HERNDON Albert, MAYER Ralf, OTTOBRE Randal, GREGORY Tennille. Analysis of advanced flight management systems (FMS). Virginia. Center for Advanced Aviation System Development, 2006. P.2-6

Figura 47. Funciones básicas del FMS



Fuente: HERNDON Albert, MAYER Ralf, OTTOBRE Randal, GREGORY Tennille. Analysis of advanced flight management systems (FMS). Virginia. Center for Advanced Aviation System Development, 2006. P.2-2.

En la figura 47 se muestra la arquitectura tipica de las aeronaves regionales que comprenden los sistemas y subsistemas de varias separaciones. Dos funciones principales del sistema de dirección de vuelo (FMS) son el sistema de control de vuelo (FCS). El FCS está compuesto de un sistema de guia de vuelo (FGS) que genera los mandos de pitch y roll así como el piloto-automático (AP) que los ejecuta. En comparación, el FMS es responsable de un conjunto más diverso de las funciones que requerir una lógica más complicada.

- **Funcionamiento** La FMC recibe datos de diversos sensores y bases de datos, lo cual ayuda a calcular la posición de las aeronaves, interpretar un plan de

vuelo, y calcular lo que se requiere para lograr la trayectoria de vuelo deseada, toda esta información es llevada al subsistema de la FMS para que de ese modo el Flight Control Computer (FCC) ordene a los comandos hidráulicos y electrónicos operar el piloto automático y dirigir la aeronave a determinada ruta la cual es generada por la FMC.

El FMS calcula la posición de la aeronave muy precisamente usando información de los datos sistemas de referencia inerciales aéreos (ADIRS) y el sistema de posicionamiento global (GPS). Los radios de navegación se afinan automáticamente para complementar y verificar el cálculo de posición. Establece un curso de aeronave para navegar por los radiales de las ayudas aéreas.

- **Base de datos FMC** esta base de datos se encarga de interpretar el formato de diseño para los procedimientos de vuelo, para facilitar esta interpretación existen base de datos publicadas por las normas ARINC, en un documento titulado Base de Datos de Sistemas de navegación o ARINC 424 donde se detalla cómo las bases de datos de navegación para FMC se deben codificar.

El FMS además utiliza en su base de datos un índice de costos (index cost CI) para optimizar el plan de vuelo. El índice de costos es determinado por el operador e incluye lo siguiente:

Consumo de combustible.
Salarios de la tripulación a bordo y en tierra.
Costos de retraso en la llegada.
Otros factores determinados por el operador.

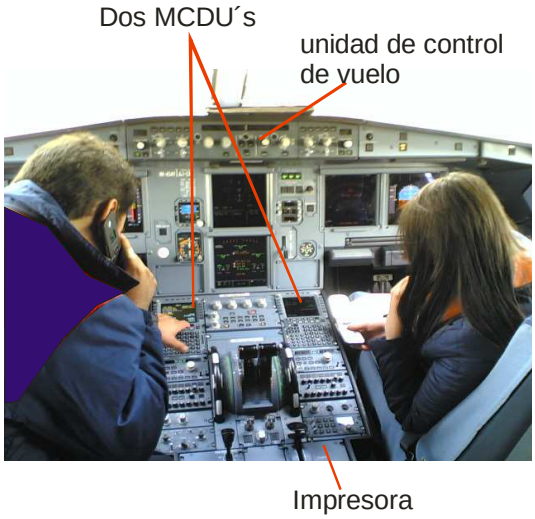
- **Sistema de gestión de vuelo avanzado** Una mejora significativa de la capacidad y la eficiencia de gestión del tráfico aéreo puede lograrse por la

integración de vuelo y de tierra. Por la parte de vuelo el Flight Management System (FMS) desempeña el papel más importante. La generación estratégica de trayectoria, así como la automática orientación a lo largo de esta trayectoria según el calendario previsto es el dominio convención del FMS. En el futuro se extenderá la funcionalidad de los elementos de cooperación, que conectan los módulos de planificación de tráfico en el terreno a los sistemas de planificación de vuelo a bordo de la aeronave a través de enlace de datos.

El sistema de administración de direccionamiento de vuelo (Flight Management Guidance Control System (FMGCS)) consiste de lo siguiente:

- Dos FMGCSs instaladas en la bahía de aviónica.
- Dos computadoras de aumentación de vuelo (FAC) en la bahía de aviónica.
- Dos MCDUs instalados a los lados derecho e izquierdo del pedestal frontal.
- Un FCU instalado en el glareshield.
- Dos palancas para acelerar.

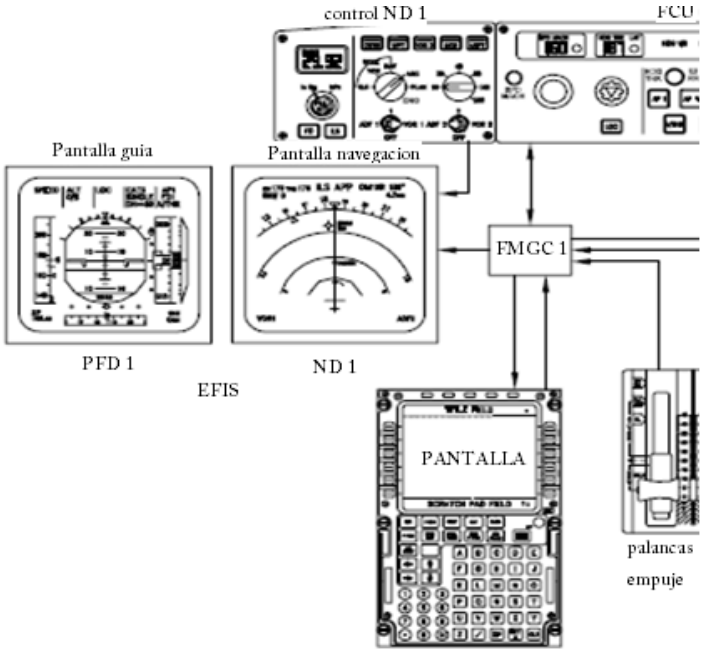
Figura 48. Montaje en cabina del FMS y equipos



Fuente: foto tomada de una aerolínea que cuenta con ACARS como datalink

- **Sistemas interfasados.** Los dos FMGCs están muy integrados con otros sistemas de aviónica del avión para la entrada y salida de datos. Ver Figura 49 La mayoría de interfaces se hacen a través de la entrada y salida (input/output (I/O)) del computador guía de del FMGC y dirigida hacia la sección de gestión de vuelo y guía de vuelo en forma de memoria RAM (memoria de acceso aleatorio). Todas las interfaces eléctricas del MCDU se hacen directamente al FMGC con excepción de la potencia y el encendido. Ninguna señal de salida va directamente a las superficies de control de la aeronave. Todos los comandos del avión como el roll, la elevación, el aumento de la aceleración van a la parte de la computadora de guía de vuelo y son limitadas por los computadores de comandos del flight guidance (FG) y flight argumentation control (FAC)

Figura 49. Sistemas interfasados



Fuente:[44]

[44] Airbus A319/320/321, Op. cit., p.25

Cada FMGC envía y recibe datos de los siguientes sistemas para ser procesados:

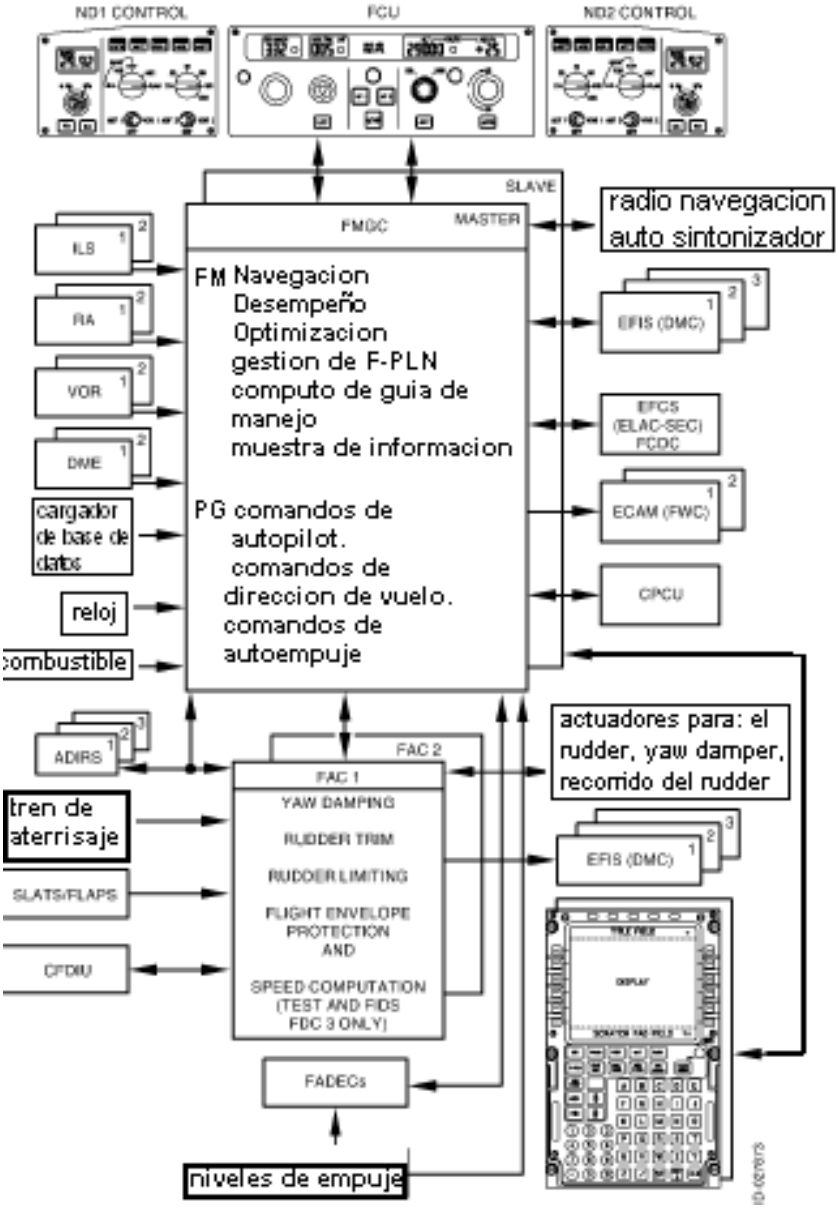
- FCU para encajar modos y seleccionar parámetros.
- Niveles de empuje: selecciona un modo de funcionamiento y establece una unidad de tasa de empuje.
- ADIRS para los cálculos de navegación y posición.
- Concentrador de datos de control de vuelo (FCDC).
- Equipos de navegación como:
    - GPS.
    - VOR y DME.
    - ILS.

- Sistemas de control de presión de cabina (CPCS) para una óptima presurización, programación para la subida de la cabina, cálculo para la re-presurización programada de asenso-descenso (tasas que pueden ser programadas por el piloto en la página de crucero PERF).
- Construcción, monitoreo y revisión del plan de vuelo por el MCDU.
- Controla los FADEC y los niveles de empuje para la administración de empuje.
- Controla conexión de datos de ATSU y ACARS desde y hacia la AOC (airline operación centers).
- O hacia la ATC.
- Cada FMGC también recibe datos o información de los siguientes sistemas (directa o indirectamente) para procesar.
- Información de la FCU para seleccionar modos o parámetros.
- Cálculos de navegación para el radio altímetro.
- Información del EFCS para el control de la aeronave.

- Información del sistema de combustible (cantidad del combustible y flujo de combustible a los motores) para las predicciones de peso y cálculos del centro de gravedad.
- Información del (LGCIU) para la protección en vuelo y la configuración y cálculos de velocidad.
- Información de los FAC para la protección en vuelo y la configuración y cálculos de velocidad.
- Información del CPCS para determinar un óptimo descenso.
- Predicciones de reloj.
- Se carga la base de datos con varias bases de datos para la navegación como estructura de rutas de vías aéreas, manejo de combustible, etc. La base de datos de navegación se actualiza cada 28 con el cargador de base de datos on board nav.
- Información del RMP como soporte para la selección manual de radio ayudas.
- Después de procesar los datos, los datos de salida del FMGC van a los siguientes sistemas (directa o indirectamente)
- Receptor de radio navegación para el auto sintonizador (escaneando los VORs).
- Hacia los sistemas EFIS y EIS para mostrar la información de gestión de vuelo.
- Información hacia el ECAM y hacia el FWC, para la generación de mensajes de alerta, alarmas auditivas, y mensajes de voz (radio altitud).
- Información hacia la computadora central de mantenimiento para detectar, procesar y memorizar datos enviados por los sistemas conectados. El sistema central de muestra de fallas (CFDS) muestra y están interfasados con este sistema.

En la figura 50 se muestran los diferentes sistemas que están interfasados con el FMGC.

Figura 50. Sistemas interfasados con el FMGCS



Fuente:[45]

[45] Airbus A319/320/321, Op. cit., p.26

Integración GPS/INS en FMS.

- **Filtro KALMAN** Generalmente se utiliza un filtro de Kalman como filtro de navegación, debido a la facilidad para integrar sensores con anchos de banda distintos Debido a que el filtro de Kalman tiene la propiedad de convergencia secuencial, los estados fuertemente observados convergen primero, mientras que los estados débilmente observados (como los sesgos de los sensores) toman tiempo para converger. Durante este periodo, la estimación de errores se atenúa lentamente, y la estimación da resultados pobres. Por lo que los valores iníciales deben determinarse cuidadosamente.

El filtro de Kalman (KF) es un medio muy eficaz estocástico estimador para un gran número de problemas, ya sea en gráficos por ordenador o en la navegación. Se trata de una combinación óptima, en términos de minimización de la diferencia, entre la predicción de los parámetros de un momento anterior al instante y externos observaciones en un momento actual instante.

El filtro Kalman se utiliza para las siguientes tareas:

1. Minimizar los errores de medición y la búsqueda de una mejor valor del parámetro medido.

2. La integración de más de una Fuentes de información.

3. Cálculo de los parámetros desconocidos o el estado de vectores de la aeronave.

4. El diagnóstico de las fallas que ocurren en el sistema de aviones.

- **Sistema de Navegación Inercial (INS)** La navegación inercial se basa en el posicionamiento relativo a partir de la integración de las aceleraciones registradas por los acelerómetros, utilizando las velocidades angulares de los giróscopos para determinar la dirección del recorrido.

Al conjunto de sensores inerciales se le conoce como IMU que, junto con las ecuaciones de mecanización, conforman un sistema de navegación inercial (INS). Generalmente los sistemas inerciales se clasifican en:

1) *Gimbal*. Aquellos que mantienen los ejes de los sensores coincidiendo con un frame de interés, que puede ser un frame inercial (*space-stabilized system*), o un frame local (*local-level system*). La ventaja de este tipo de sistemas es que no necesitan la transformación de coordenadas, resultando relativamente sencillo el cálculo de la solución de navegación.

2) *Strapdown*. Los sensores son solidarios con el vehículo, midiendo las velocidades angulares y las fuerzas específicas a lo largo de los ejes del frame del mismo. Para obtener la solución de navegación se necesita calcular la *attitude* del vehículo para transformar las fuerzas específicas al frame de navegación deseado.

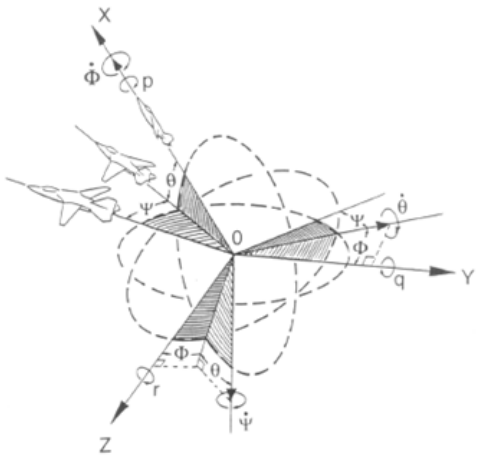
- **Errores en el INS** La mayoría de los errores del INS se atribuyen a los sensores inerciales (instrumento errores). Estos errores son el resultado de equipos instalados como los acelerómetros y giroscopios.

Errores en las aceleraciones angulares y las tasas conducen a errores cada vez mayores en cuanto a la posición y velocidad de los componentes de la aeronave, debido a la integración. Este tipo de errores se denominan errores de navegación y hay nueve de ellos (tres errores de posición, tres de velocidad, dos errores de

actitud y un error de partida). Si una ayuda INS se utiliza, estos errores de crecer con el tiempo. Es por esta razón que el INS es por lo general trabaja con la ayuda del GPS, y el sensor Doppler. La aceleración de la gravedad varía de un lugar a otro a lo largo de la tierra y también con la altura. Estos errores tienen que ser modelo en consecuencia. Sensores inerciales para sistemas de strapdown experiencia mucho mayor en comparación rotación gimballed a sus homólogos. Rotación de error introduce mecanismos que requieren actitud tasa de error que dependen de la indemnización.

- **Ecuaciones del movimiento** La orientación de una aeronave con respecto a un marco inercial fijo de ejes se define por los tres ángulos de Euler. Imaginese la aeronave orientada en paralelo al marco de referencia fijado a los ejes. Una serie de rotaciones de llevarlo a la orientación sobre ejes OX, OY y OZ, tal y como se muestra en la figura 51.

Figura 51. Ángulos de Euler



Fuente: VIKAS KUMAN N. integration of inertial navigation system and global position system using Kalman filtering, Mumbai, 2004, 22 p. trabajo de grado (optar por doble titulación en ingeniería aeronáutica). Indian institute of technology. Facultad ingeniería ,Programa de aeronáutica.

- **Sistema de Posicionamiento Global (GPS)** El sistema GPS ofrece un servicio de posicionamiento preciso (PPS) para usuarios autorizados, pero también proporciona el servicio de posicionamiento estándar (SPS) menos preciso para usuarios civiles. Teóricamente, este ´ultimo posee precisiones de 13 metros horizontales y 22 metros verticales con un 95% de confidencialidad.

El principio funcional del GPS se basa en medir el tiempo empleado por la señal transmitida por los satélites en llegar al receptor del usuario, y este intervalo de tiempo es multiplicado por la velocidad de la luz para obtener la distancia satélite receptor. Para ello, se puede utilizar cualquiera de los tres tipos de observables GPS: pseudodistancia, fase de portadora y Doppler. En el primero, el tiempo de propagación de la señal se mide correlando la secuencia PRN generada localmente en el receptor con la recibida del satélite. Se denomina Pseudodistancia por los errores presentes en la medida.

La fase de portadora es un método más preciso de obtener la pseudodistancia, con errores más pequeños que el método anterior. Este observable es la diferencia de la fase de portadora que le llega al receptor con la generada internamente, existiendo un número ambiguo de ciclos que hay que resolver para poder utilizar este método. Las medidas Doppler representan la velocidad de cambio de la frecuencia observada de la señal de los satélites, producto del movimiento relativo satélite-receptor. Se utiliza generalmente para derivar la velocidad del receptor.

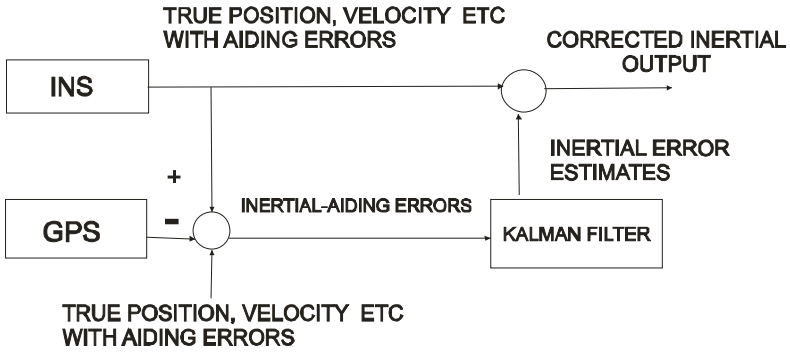
- **Filtro de Kalman y la navegación** KF es una muy eficaz y versátil para combinar procedimiento ruidoso sensor de productos para estimar el estado de un sistema con la dinámica incierta. Noisy sensor productos incluyen productos de GPS y el INS; estado del sistema pueden incluir la posición, velocidad, actitud y la actitud de un tipo de vehículo o de una aeronave; dinámica e incierta incluye

perturbaciones imprevisibles en el sensor de parámetros o disturbios causados por un operador humano o un medio (como el viento).

El KF se utiliza para estimar los errores introducidos en el sistema de INS sin ayuda debido a los giroscopios y acelerómetros.

Estos errores constituyen el vector de estado ^ xk y los valores medidos en los vectores de estado del GPS las formas de medición del vector z. Una vez que los errores se han calcado, el KF bucle, se aplica después de haber dado a las estimaciones iníciales del estado y su vector de covarianzas en el tiempo t = 0. Este es el GPS con ayuda de la configuración del sistema INS, y los errores son bien compensados por el feedforward o el mecanismo de retroalimentación, como se muestra en figuras 52 y 53.

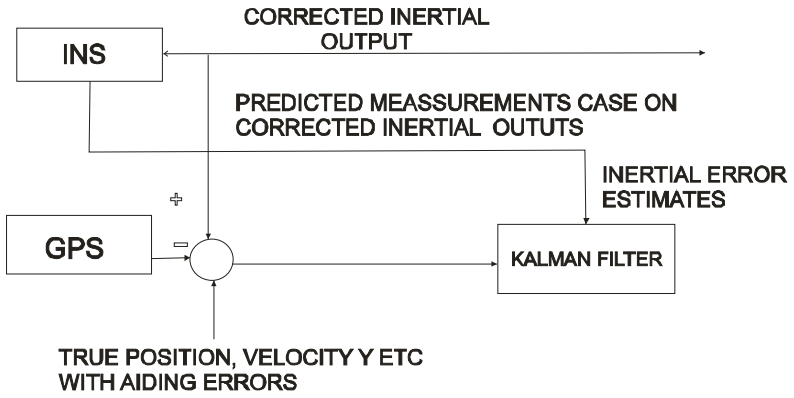
Figura 52. Feedforward aided INS



Fuente: [46]

[46] Ibíd., p.19

Figura 53. Feedback aided INS



Fuente:[47]

- **Filtro de Kalman y la navegación** KF es muy versátil y efectivo, combina los ruidos con el fin que el sensor pueda calcular el estado del sistema con una dinámica incierta. Ruido sensor productos incluir los resultados de la INS y GPS; estado del sistema puede incluir la posición, la velocidad, la actitud y la actitud de una aeronave; es capaz de incluir perturbaciones imprevisibles en el sensor de parámetros o perturbaciones provocadas por un operador humano o un medio (como el viento).

Una vez que los errores son modelados, el bucle del KF, se aplica después de dar las estimaciones iníciales de los vectores de estado y su matriz de covarianza en el tiempo t = 0. Este es el GPS-INS con ayuda de la configuración del sistema, y los errores son o bien compensado por el feedforward o el mecanismo de retroalimentación, como se muestra en las figuras 52 y 53.

[47] Ibíd., p.19

4.6 SISTEMAS NUEVOS O EN PRUEBA DE VIGILANCIA

4.6.1 Multilateración. También conocida como posicionamiento hiperbólico, es el proceso de localizar un objeto con precisión de cálculo de la diferencia de tiempo de llegada (TDOA) de una señal emitida desde el objeto a tres o más receptores. También se refiere al caso de localizar un receptor de medida de la TDOA de una señal transmitida desde tres o más transmisores sincronizados. [48]

Multilateración se utiliza comúnmente en civiles y militares de vigilancia para aplicaciones de localizar con precisión una aeronave, vehículo o estacionarias emisor de medir la diferencia de tiempo de llegada (TDOA) de una señal del emisor a tres o más sitios receptor. Si el pulso es emitido por una plataforma, se llega a algo diferente en dos tiempos separados espacialmente receptor sitios, la TDOA se debe a las diferentes distancias de cada receptor de la plataforma. De hecho, para determinados lugares de los dos receptores, toda una serie de lugares emisor daría a la misma medición de TDOA. Habida cuenta de dos lugares receptor y un conocido TDOA, el centro emisor de las posibles ubicaciones es la mitad de un toldo de dos hiperboloide.

Multilateración o MLat es lo último en tecnología para el control del tráfico aéreo, y está avanzando con mucha rapidez. La multilateración eventualmente substituirá la mayoría, si no todos los radares secundarios. Instalar multilateración es más barato, requiere mucho menos mantenimiento, es más exacto y trabaja en las situaciones donde el radar tiene problemas. Juzgando por la rapidez en la cual se están adoptando los sistemas de multilateración, la demanda no va en aumento.

Las autoridades de aviación en numerosas localidades han adoptado soluciones de multilateración a los problemas que anteriormente se creía se podían resolver solamente por el radar, o no se podrían resolver, excepto a un muy alto costo.

[48] colegio de controladores de tránsito aéreo de chile. ¿Multilateración reemplazar el radar? S.P.I. 1 P.

Multilateración también puede ser utilizado por un receptor único para situarse, mediante la medición de la TDOA señales emitidas a partir de tres o más transmisores sincronizados en lugares conocidos. Esto podría ser usado por los sistemas de navegación, un ejemplo es la británica Decca sistema de navegación, desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial, que utiliza la eliminación de la diferencia de dos transmisores, en lugar de la TDOA de un pulso, para definir la hyperboloids. Esto permitió a los transmisores para difundir una señal de onda continua. Fase de la diferencia y la diferencia de tiempo se puede considerar la misma para de banda estrecha transmisores.

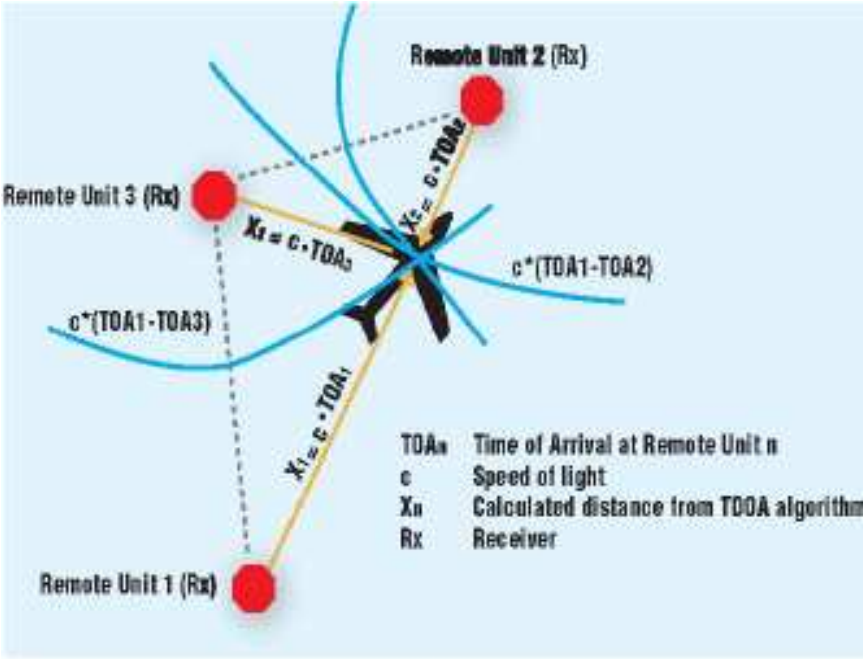
Multilateración es, en general, mucho más exacto para localizar un objeto que técnicas como la triangulación (como es más fácil medir el tiempo con precisión de lo que es para formar un haz muy estrecho). La precisión de Multilateración es una función de diversas variables, entre ellas:

- La geometría del receptor (s) y el transmisor (s)
- El momento de la exactitud del sistema receptor. (Relativa momento durante un período muy corto, por lo general menos de una fracción de segundo.).
- La precisión de la sincronización de la transmisión de los sitios o lugares de recepción. Esto puede ser degradados por la propagación de efectos desconocidos.
- El ancho de banda de la emisión de impulsos (s) y, por tanto, el aumento de tiempo de los pulsos.
- Las incertidumbres en las ubicaciones de los receptores.
- Múltiples reflexiones

Está basado en el viejo principio de la triangulación. Es decir, si se toma la demarcación de un objeto a partir de tres posiciones conocidas y ampliamente

separadas, y las trazas en un mapa, su intersección te demostrará la localización del objeto como se muestra a continuación.

Figura 54. Triangulación en el sistema de multilateración



Fuente:[49]

Pero la multilateración no toma las demarcaciones. El sistema emplea un número de estaciones pequeñas, automáticas llamadas “postes que escuchan” que se puedan ubicar alrededor de un aeropuerto para supervisar tráfico local, o ubicados mucho más lejos, amplia del sistema, para cubrir áreas más grandes de espacio aéreo, figura 55 ejemplo de una antena de Multilateración en tierra.

[49] Ibíd., p.1

Figura 55. Estación de multilateración en tierra.



Fuente: [50]

Las estaciones simplemente esperan a recibir las respuestas de los transpondedores, activadas por interrogaciones de los radares secundarios de vigilancia (SSR) o de aviones equipados con TCAS, fuera de la línea de vista, que pueden ser hasta 300 millas para las aeronaves de alta performance. Para cubrir todas las combinaciones del tráfico, la multilateración puede supervisar los modos A/C, Modo-S, ADS-B y los transpondedores militares. Cada segundo, cada estación envía los datos de las señales recibidas a un procesador localizado centralmente, donde los complejos cálculos de triangulación y de tiempo obtienen las posiciones exactas de todas las aeronaves, las cuales son enviadas al centro ATC. En el centro, los controladores no ven ninguna diferencia entre el radar convencional y las blancos la multilateración en sus pantallas, porque la unidad del procesador de la multilateración proporciona la información en el formato idéntico al de la visualización radar. La única diferencia es que los datos de La multilateración están actualizados con una frecuencia mucho más alta que los 4.8 segundos típicos del barrido de 360 grados de la antena del radar.

[50] Ibíd., p.1

Además esa renovación de datos más alta provee a los controladores una presentación mucho más continua de los blancos en sus pantallas, comparados con los “saltos periódicos” de los barridos radar.

Otra ventaja de la mayor frecuencia de renovación de la multilateración es que mientras que la confirmación y la identificación positivas de un blanco por el radar convencional requiere generalmente por lo menos tres barridos consecutivos de la antena, o aproximadamente 15 a 20 segundos, la multilateración puede alcanzarlo en apenas tres o cuatro segundos.

A ser bastante común, uno o dos postes pasivos fijos en la red se modifican para convertirse en estaciones activas donde ambos transmiten interrogaciones y entonces, junto con las estaciones pasivas, esperan a escuchar las contestaciones de los transpondedores. Este método se ha adoptado en Mongolia, Taiwán y Tasmania, en donde las autoridades han decidido pasar totalmente de las instalaciones convencionales de SSR usando combinaciones de multilateración activo y pasivo para cubrir grandes áreas del espacio aéreo. Es decir la multilateración puede funcionar conjuntamente con SSR o ser totalmente independiente de ellas; Hay cada vez más instalaciones de multilateración, las ventajas operacionales del sistema no sólo han igualado o han excedido los del radar en usos comparables pero también han ganado bajando los costos.

Conociendo la posición de 2 antenas (las cuales ya no necesitan ser unidireccionales) y conociendo el TDOA de una señal proveniente del móvil a localizar, el problema de búsqueda del punto emisor se reduce a localizar al mismo en el interior de un hiperboloide de dos hojas.

Añadiendo un tercer nodo de medición se obtiene una nueva diferencia de tiempos de llegada, lo que genera un nuevo hiperboloide que intersecciona con el anterior,

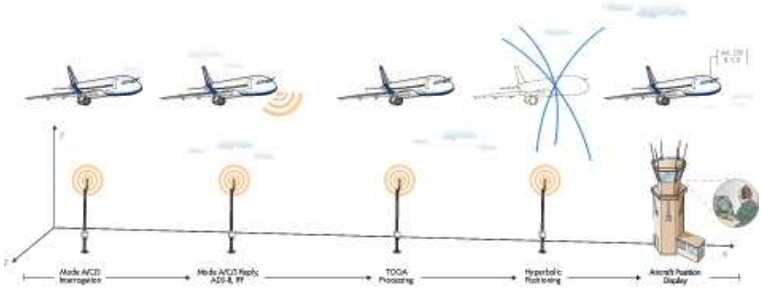
reduciendo el problema a una curva en la superficie de una de las dos hojas del hiperboloide.

Si se añade una cuarta antena, se obtiene un nuevo TDOA y se genera un nuevo hiperboloide. Dicho hiperboloide intersecciona con los otros dos (o con la curva generada por la intersección de los dos primeros hiperboloides) en un único punto común, que es el punto a determinar. En este caso, se da también la coordenada de altura del punto de medición.

Funcionamiento de La multilateración se divide en 5 formas de trabajo, como se ilustra en la figura 56, en las cuales las estaciones terrestres de La multilateración pueden recibir respuestas de todos los transpondedores de las aeronaves que tengan los equipos, incluyendo ADS-B, con esto es posible determinar la posición de las aeronaves y la diferencia de tiempo de llegada de las respuestas. (TDOA).

1. Modo A / C / S interrogatorio
2. Modo A / C / S Respuesta, ADS-B, el FIB
3. Diferencia de Hora de Llegada (TDOA) Tramitación
4. Hiperbólica de posicionamiento
5. Aviones de la posición de visualización

Figura 56. Funcionamiento del sistema de multilateración en aeropuertos



Fuente: Alexander ter Kuile. Multilateración y ABS-. [Articulo de internet] http://www.multilateration.com/surveillance/multilateration [consulta: 12 septiembre 2008].

4.6.2 ADS B ground station ADS-B es una tecnología radicalmente nueva que redefine el paradigma de COMUNICACIÓN-NAVEGACIÓN-VIGILANCIA en la administración del tráfico aéreo de hoy. Ya demostrado y certificado como una sustitución barata y viable para el radar convencional, ADS-B permite que los pilotos y los controladores de tráfico aéreo "Vean" y controlen las aeronaves en la superficie con más precisión y por encima y lejos de la superficie de la tierra más de lo que nunca se ha visto. [51]

- **ADS-B es el acrónimo de:**

Automatic Siempre esta encendido no necesita la intervención de un operador

Dependent Es dependiente de un aviso exacto de la señal de posicionamiento . GNSS

Surveillance provee como el radar servicios de vigilancia mejor que el RADAR.

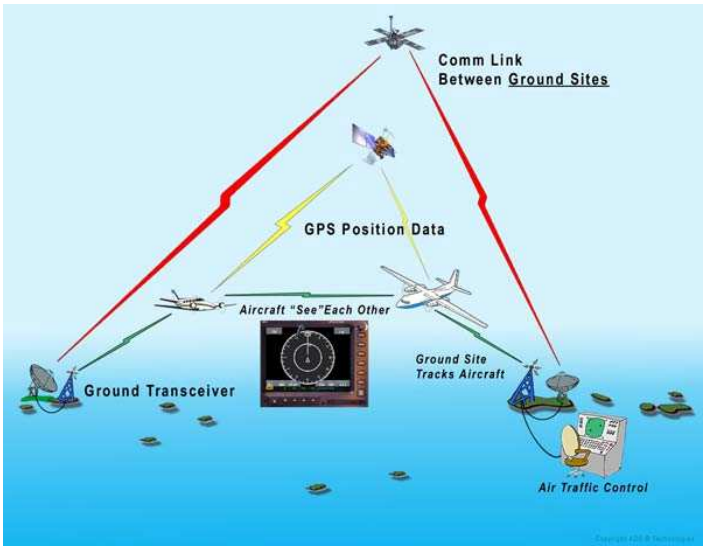
Broadcast Transmite posición de aeronave y otros datos constantemente a Cualquier aeronave, o centro en tierra equipado para recibir ADS- B.

- **Como Trabaja El ADS-B.** A diferencia del radar, que funciona haciendo rebotar las ondas de radio de antenas terrestres fijas fuera de blancos aerotransportados y luego interpretar las señales reflejadas, el ADS-B usa tecnología de sistema de satélite (GNSS) de navegación global convencional y un enlace de Comunicaciones de transmisión relativamente simple como sus componentes fundamentales, figura 57. También, a diferencia del radar, los anuncios de exactitud de ADS-B no se degrada seriamente con el rango o las condiciones atmosféricas o la altitud del objetivo y la actualización los intervalos no dependen de la velocidad rotacional o la confiabilidad de antenas mecánicas. En

[51] http://www.ads-b.com disponible septiembre 2008

una aplicación típica del ADS-B, el ADS de la aeronaves es capaz de usar un GNSS ordinario (GPS, Galileo, etc.) recibiendo y entregando la posición exacta de la constelación del GNSS, luego combina esa posición con cualquier numero de aeronaves dispersas muestra como es su velocidad, rumbo, altitud y numero de vuelo. Esta información luego es trasmitida simultáneamente, a otros ADS-B, a estaciones en tierra, o a transpondedores los cuales trasmiten la posición de la aeronave e información adicional a la central de tráfico aéreo en tiempo real

Figura 57. Arquitectura ADS-B



Fuente: ADS-B [articulo internet] http://www.ads-b.com. [Consulta: 19 septiembre de 2008]

Los sistemas actuales de vigilancia están basados en los radares como método fundamental de captación de los datos de posición e identificación de las aeronaves. Los elementos que los constituyen son tres:

- **Informes de posición a través de la voz:** Cuando los radares SSR o PSR no cubren un espacio determinado, por ejemplo si la aeronave está sobrevolando una zona oceánica, la tripulación envía sus datos de navegación a los controladores a través de Comunicaciones de voz.

- **Radares Primarios (PSR):** Tienen capacidad de vigilancia de todas las aeronaves de un espacio aéreo concreto y determinan su posición en dos dimensiones.

- **Radares Secundarios (SSR):** Tienen capacidad de controlar a aquellos aviones equipados con un transpondedor receptor-emisor SSR y determinan la posición de aeronaves en 3 dimensiones, así como su identificación.

Las limitaciones de sistemas de vigilancia radar son las siguientes:

- Falta de capacidad para delegar responsabilidades de reparación de la aeronave en la tripulación.
- Costes elevados de la infraestructura terrestre.
- Fuerte oposición de las autoridades locales: población y grupos ecologistas a su instalación.

Las ventajas asociadas a la ADS-B son las siguientes:

- Menores costes asociados al despliegue de la infraestructura.
- Mayor flexibilidad en la ubicación de las estaciones de tierra.

La estructura técnica de la vigilancia dependiente automática (ADS) está ubicada en dos entornos:

- **En la aeronave:** una de las características de la ADS es su dependencia. Todos los datos son transmitidos desde los aviones. Por tanto, éstos deben llevar a bordo el equipo necesario, (ver figura 58), que consta de:

1. Un sistema de navegación, que proporciona los datos básicos al ADS (identidad, posición etc.). [52]

2. Una aplicación ADS, que gestiona el procesado, codificación y transmisión de los datos ADS. También puede recibir la información de otra aeronave a través de la técnica ADS-B. En el caso de ADS-C, gestiona los contratos que mantenga la aeronave con estaciones de tierra.

3. Un equipo de enlace de datos, que transmite los informes de ADS-B a otras aeronaves y los de ADS-C, a través de Comunicaciones de doble sentido, a los sistemas de tierra.

4. En el caso de la ADS-B, normalmente existirá una pantalla que muestre la posición del tráfico circundante (CDTI, *Cokpit Display of Traffic Information*).

Figura 58. Equipo ADS-B instalado en la aeronave.



Fuente: [53]

- **En tierra:** los sistemas instalados en las aeronaves tienen su contraparte terrestre, que consta de:

1. Un equipo de enlace de datos, que funciona de la misma manera que su correlativo en la aeronave.

[52] http://www.aena.es Disponible Septiembre 2008
[53] ADS-B, Op.cit.,

2. Una aplicación ADS, que gestiona la recepción de información enviada por las aeronaves y, en el caso de la ADS-C, los contratos establecidos con las aeronaves.

3. Tratamiento de datos de vigilancia, que procesa la información de vigilancia recibida para su uso por parte del resto de los sistemas de tierra.

Figura 59. Estaciones en tierra del sistema ADS



Estación en tierra con energía solar.



Estación a grandes alturas de ADS



Estación en Atigun Pass, Alaska con frió extremo.

Fuente:[54]

- **Servicios del ADS** El objetivo básico de la técnica ADS es proporcionar una vigilancia Gate to Gate desde el mismo momento en que la aeronave comienza su movimiento en tierra en el aeropuerto de origen hasta su aterrizaje y llegada al lugar de estacionamiento de un aeropuerto determinado.

Las aplicaciones de la ADS están enfocadas hacia tres áreas concretas:

[54] ADS-B, Op.cit.,

Vigilancia Tierra / Aire: la ADS complementa las técnicas actuales de radar porque también controla a las aeronaves en vuelo a través de sistemas terrestres. Sus funciones son las siguientes:

- Ayuda al controlador, proporcionándole la identificación y posición de las aeronaves, aunque éstas sobrevuelen zonas oceánicas.
- Gracias a los datos de intención de vuelo permite detectar con gran fiabilidad posibles conflictos del tráfico aéreo hasta con 20 minutos de antelación.

Vigilancia Aire / aire: transmisión de datos entre dos aeronaves sin que intervenga ninguna estructura terrestre.

- El piloto conoce el tráfico que le rodea, y por tanto puede asumir algunas nuevas funciones.
- Facilita, de esta forma, el avance hacia nuevos conceptos como, por ejemplo, el *Free Flight*, que proporcionará mayor flexibilidad en el tráfico aéreo.

Vigilancia de movimientos en tierra: a través de sistemas terrestres, la ADS permite controlar eficazmente los movimientos en superficie de las aeronaves en los aeropuertos. Con ello se pueden evitan incursiones en pistas ya ocupadas por otras aeronaves y se puede aumentar la seguridad y eficacia cuando las condiciones meteorológicas son adversas (por ejemplo, en presencia de nieblas).

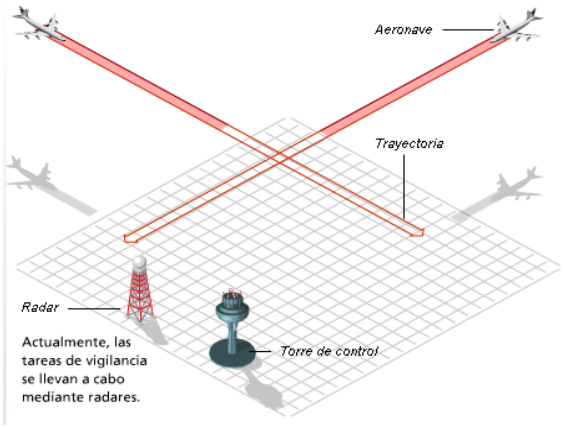
La técnica ADS proporcionará los siguientes beneficios:

- Complementará la cobertura de los sistemas de vigilancia actuales en zonas de baja altitud carente de cobertura radar por condicionantes geográfica, así como en zonas oceánicas.
- Permitirá mejorar los algoritmos de seguimiento de una aeronave.

- Aumentará la capacidad de vigilancia a bordo, y facilitará la delegación de responsabilidades a la propia tripulación, incrementando la flexibilidad del espacio aéreo y posibilitando el *free flight.*
- Incrementará la capacidad de las operaciones en los aeropuertos, incluso en condiciones de baja visibilidad.

- **Vigilancia** se define como la acción de seguimiento e identificación de una aeronave a lo largo de toda su trayectoria para evitar que unas aeronaves irrumpan en la ruta de otras, figura 60.

Figura 60. Vigilancia del ADS B



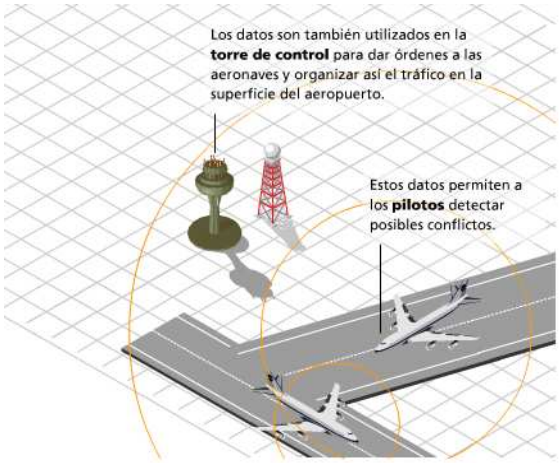
Fuente:[55]

- **Vigilancia en superficie** A través de sistemas terrestres, el sistema ADS permite controlar con más eficacia los movimientos en superficie (figura 61) (en los aeropuertos) de las aeronaves. Con ello se pueden evitar incursiones en pistas ya ocupadas por otras aeronaves y se puede aumentar la seguridad y eficacia

[55] ADS-B vigilancia dependiente automática. [articulo de internet] http://www.aena.es/csee/Satellite?Language=ES_ES&idDocumento=1057658987341&idflash=117766780413 4&pagename=Utiles%2FShowFlash [consulta: 30 Septiembre de 2008].

cuando las condiciones meteorológicas son adversas (por ejemplo, en presencia de nieblas).

Figura 61. Sistema vigilancia en tierra.



Fuente: [56]

- **Radares** Los radares determinan la distancia a la que se encuentra la aeronave, figura 62. Para algunos la aeronave puede enviar una contestación en la que además indica su altura e identificación, pudiendo así determinar la posición de la aeronave en tres dimensiones.

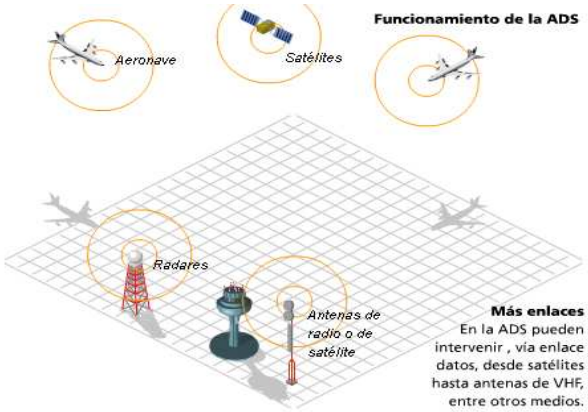
Los radares tiene limitaciones geográficas de información, como lo son las zona oceánicas constituyen una limitación para los radares por si cobertura.

1. El radar emite una onda electromagnética
2. La aeronaves refleja esa onda
3. Midiendo el tiempo que tarda una onda en ir y volver la torre de control determina la distancia donde se encuentra el avión.

[56] Ibíd.

- **ADS estaciones en tierra** La vigilancia dependiente automática (ADS) es una técnica de vigilancia que mejorará la utilización del espacio aéreo, reduciendo combustible y horas de vuelo, así como cancelaciones y retrasos.

Figura 62. Sistema ADS en tierra.



Fuente:[57]

Los ADS permiten transmitir mayor información que los sistemas de radar sin límites geográficos, y cuando una aeronave emite una señal y hay otro avión cerca también recibe la información, la misma información que le llega a la torre de control, como se muestra en la figura 62.

Con los datos de vuelo el ATM puede detectar posibles conflictos de tráfico aéreo con aproximadamente 20 minutos de antelación.

1. La aeronave emite una señal de ADS B
2. Las estaciones terrestres reciben la señal
3. Se establece una comunicación continua entre la estación en tierra y la aeronave, por lo tanto esta trasmite a intervalos regulares a la estación con la que tiene contacto.

[57] Ibíd.

El sistema de la aeronave proporciona la posición, la distancia, la altura y el tiempo, la identificación del aparato y otros datos de los sistemas de navegación y posición necesarios, existen dos técnicas de ADS que están basadas en los mismos principios: ADS – B (Broadcast – “difusión”) y ADS – C (Contract – “contrato”).

La ADS -B consiste en la radiodifusión de ciertos datos de a bordo. Cualquier estación o aeronave dentro de la cobertura puede recibir la señal, el ADS – B sirve tanto para vigilancia aire – tierra como para vigilancia aire – aire, ya que los mensajes son difundidos a todas las aeronaves y a todas las estaciones terrestres que haya cerca a intervalos frecuentes y regulares; sin embargo estas transmisiones no son controladas desde tierra, y no hay garantía de recepción.

Existen tres tecnologías diferentes para el enlace de datos de ADS – B; VDL modo 4, UAT y Extended Squitter.

La ADS – C es una técnica en la que la transmisión de la información se realiza punto a punto entre la aeronave y una estación en tierra. La transmisión de los datos va dirigida a una estación con la que se ha establecido un acuerdo previo, por tanto sólo se permite vigilancia aire – tierra. La comunicación se establece mediante un contrato o acuerdo en el que se fijan las condiciones de la comunicación (datos, frecuencia de actualización,…). El objetivo básico de la técnica ADS es proporcionar una vigilancia Gate to Gate, es decir, desde el mismo momento en que la aeronave comienza su movimiento, incluso cuando el avión sobrevuele zonas oceánicas pueden utilizar Comunicaciones vía satélite para enlazar los datos.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 PLAN DE TRANSICIÓN

En la Tabla 16 se muestra una relación de las empresas y su flota a la fecha las cuales estarían mayormente interesadas en las conclusiones de este plan de transición, por tener un mayor número de aeronaves y vuelos de carga y pasajeros.

5.1.1 Plan de transición para sistemas de comunicación Después de la comparación de los diferentes sistemas comunicación en Colombia desde los equipos actuales hasta los equipos de nueva tecnología según la evolución tecnológica que estos han tenido la mejor solución es la utilización del sistema VDL Modo 4, este sistema de comunicación le ofrece a las diferentes empresas de transporte aéreo colombiano un reducción en costos de mantenimiento, reducción de carga operacional, mayor seguridad operacional, rutas optimizadas, reducción de costos de combustibles y llegadas a tiempo. El nivel de seguridad de las diferentes flotas se verá altamente incrementado con la utilización del sistema ADS ya que el VDL modo 4 soporta este sistema dentro de su configuración, por lo tanto se presentaría una reducción de costos en mantenimiento de equipos, entrenamiento al personal y volumen de equipos instalados en las aeronaves.

El VDL modo 4 ofrecerá mayor confiabilidad en el momento que se realice la comunicación entre controlador, piloto, y operador ya que los mensaje enviados y recibidos serán en forma escrita, lo cual permitirá no tener errores como los que muy frecuentemente se presentan por el intercambio de datos por voz, el aumento de la velocidad en las Comunicaciones permitirá reducción de tiempos, ya que la presencia de sistemas de filtrado reducirán en gran forma errores y distorsiones en

las Comunicaciones, con ese sistema de comunicación no se presentaran problemas por interferencia de datos con otras aeronaves, ya que el protocolo STDMA permitirá utilizar los canales de información ya reservados para transmitir datos.

Tabla 16. Aerolíneas colombianas

AEROLINEA	AERONAVE	CANTIDAD
AVIANCA	Boeing 767-300ER	2
	Boeing 767-200ER	5
	Boeing 757-200	7
	Mc Donnell Douglas MD-83	16
	Fokker – 100	12
	Fokker – 50	8
	Airbus - A320	1
	Airbus - A330	1
	TOTAL	**52**
AEROREUBLICA	Boeing (Douglas) MD82	3
	Boeing (Douglas) MD83	2
	Embraer 190	9
	TOTAL	**14**
AIRES	De Havilland Dash 8-100	1
	De Havilland Dash 8-200	10
	De Havilland Dash 8-300	4
	TOTAL	**15**
SATENA	Embrear ERJ-145ER	5
	Embrear ERJ-170	2
	Dornier 328	6
	TOTAL	**13**
LAS	Boeing 727-100	3
	Boeing 727-200	4
	Mc Donnell Douglas DC-9	1
	TOTAL	**8**

5.1.2 Plan de transición para sistemas de navegación Para las aeronaves con las que se cuenta actualmente en Colombia, que aun están volando con sistemas primarios de navegación como lo son ADF, NDB, VOR, DME e ILS para la aproximación. El GPS se toma como un medio secundario de navegación. En la actualidad se tiene el sistema de FMS, a su vez ya trae incorporado el sistema de IRS y de GPS, con este nuevo sistema la reducción de costos es muy elevada ya que el sistema de galileo y de glonass por ser Comunicaciones satelitales no son muy comerciales y tienen unos costos de utilización muy altos, la propuesta que se hace es implementar el FMS integrado con el IRS y el GPS para la aviación comercial que tenga en este momento los FMS en utilización, este sistema ofrece lo que ningún otro sistema de navegación ofrece como lo es la exactitud, integridad, continuidad, y disponibilidad.

Tabla 17. Características del GPS, INS Y GPS+INS

	GPS	INS	GPS + INS
exactitud	Cumple	No Cumple	Cumple
integridad,	Cumple	No Cumple	Cumple
Continuidad,	No Cumple	Cumple	Cumple
Disponibilidad.	No Cumple	Cumple	Cumple

Se tiene que con la utilización del FMS integrado la corrección de errores de vuelo es mucho más exacta, porque en comparación de los demás sistemas de navegación este corrige los errores con una mayor frecuencia, por lo tanto cumple con exactitud, integridad, continuidad y disponibilidad, como se ve en la Tabla 17, lo cual hace que en algunas aeronaves prototipo, comerciales y en la aviación militar ya sea utilizado como medio primario de navegación

Si se hace un empalme con el sistema VDL 4 se tiene que la información transmitida por este sistema de comunicación, va a ser mostrada por la pantalla de FMS así que los costos no aumentarían, si se realiza la integración de estos sistemas.

Para las aeronaves de aviación general, que en el país es la mayoría, se propone que se utilice el sistema de GPS que cumpla con las especificaciones que para medio primario de navegación tiene la FAA como lo son:

- El GPS usado debe cumplir con los requerimientos de la TSO-C129/C129a los cuales menciona los equipos mínimos que deben tener este sistema y las funciones específicas.
- La integridad mínima debe ser proporcionada por un sistema de aumentación ABAS.
- Adicionalmente el GPS solo (sin ningún otro sistema) deberá incluir las siguientes funciones:
    - Detección de paso de pseudo rango.
    - Verificación de Health Word.

Además si el sistema de navegación GPS no tiene alertas automáticas de pérdida de señal del GPS, el operador debe desarrollar procedimientos para verificar la correcta operación del GPS[58].

Hay cuatro áreas principales que contribuyen a la utilización del FMC en las aeronaves:

1. FMC equipos instalados en el avión: una aeronave puede tener un equipo de FMC de diferentes fabricantes y / o diferentes modelos.

[58] Extraído de la AC 90-100A

2. Procedimiento de codificación de la FMC en la base de datos: Diferentes versiones de ARINC instaladas en la FMC pueden tener un impacto sobre la forma en que la aeronave cumple con el LNAV y VNAV en la pista.

3. Interfaz del FMC y las capacidades de rendimiento de las aeronaves: como existen diferentes fabricantes de estos equipos, se presentan casos que el mismo modelo de FMC puede ser instalado en un avión Boeing y Airbus, pero dicho modelo es de diferente fabricante, por tanto su instalación dependerá de las exigencias de la aeronave, y la facilidad con que esta logre adaptarse al modelo de FMC. Una consecuencia que se puede presentar es que la aeronave opere con el sistema pero este no se adapte como se espera y el rendimiento de alguna de sus funciones cambie.

4. Los procedimientos de la tripulación de vuelo: cada aerolínea tiene diferentes necesidades, dependiendo las normas aplicables, la información requerida, filosofías de funcionamiento y procedimientos. En algunos casos por ejemplo se utiliza el FMC, el piloto automático de orientación y automatización de la FMS, en otros casos se permite que la tripulación sea libre en la toma de decisión sobre la utilización de estos sistemas.

De estas cuatro áreas, los números dos y tres han sido examinados y se encontró que tienen un impacto negativo significativo en la LNAV y VNAV en las pistas.

Durante algún tiempo se ha venido desarrollando planes de mejoramiento para los problemas que se enfrentan en la actualidad en este sistema, lo cual ha llevado a examinar las diferencias en la funcionalidad en la FMC.

Objetivos de la transición al sistema FMS:

1. Control para el mayor número de variables como sea posible a través de escenarios de pruebas normalizados.

2. Utilización de procedimientos existentes que están en uso en el espacio aéreo National Airspace System (NAS).

3. Incorporar la mayor cantidad de diferentes fabricantes como sea posible en los juicios.

4. Facilitar los procesos de recolección de información.

5. Proteger los datos facilitados por los fabricantes.

Con lo analizado anteriormente se cree necesario que la aviación general utilice el sistema de GPS y la aviación comercial utilice el sistema FMS integrado.

5.1.3 Plan de transición para sistemas de vigilancia En Colombia actualmente se utilizan los radares para el sistema de vigilancia, después de analizar las diferentes opciones se dividió la aviación colombiana en dos familias.

- ***Aviación comercial*** para la aviación comercial se analizo que lo mejor era equipar las aeronaves con el sistema ADS B, el equipo que se propone es del el CNS SYSTEMS (ver anexos), este equipo soporta ADS B Y VDL 4 lo que ayudara a tener una disminución de costos por compra de equipos, y mantenimiento.

El sistema de ADS B permite al piloto tener una mejor visión de las aeronaves que están a su alrededor, obtendrá parámetros de posición, distancia, altura, y la identificación de las diferentes aeronaves etc., al controlador lo ayudara a tener

con tiempo anticipado las rutas y posibles colisiones entre aeronaves ya que con la reducción cada vez más grande del RVSM el controlador debe estar muy bien equipado y entrenado para evitar posibles conflictos de tráfico aéreo.

- ***Beneficios de ADS-B*** Complementará la cobertura de los sistemas de vigilancia actuales en zonas de baja altitud carente de cobertura por parte del radar por condicionantes geográficas, así como en zonas oceánicas. Permitirá mejorar los algoritmos de seguimiento de una aeronave. Aumentará la capacidad de vigilancia a bordo, y facilitará la delegación de responsabilidades a la propia tripulación, incrementando la flexibilidad del espacio aéreo. Incrementará la capacidad de las operaciones en los aeropuertos, incluso en condiciones de baja visibilidad

- ***Aviación general*** se considera que las aeronaves pequeñas no deberían sufrir con la implementación del sistema ADS – B propuesto para la aviación comercial, por lo tanto la propuesta que se hace es la utilización de estaciones de ADS-B que tienen la posibilidad de ser integradas con un sistema de multilateración gracias a un sensor que se puede adquirir y que compatible con el sistema de ADS, (ver tabla 24) este sistema de vigilancia no solamente es más económico tanto en su adquisición y mantenimiento con respecto a los radares que se tiene en Colombia actualmente, si no que es más confiable. El sistema de ADS integrado con multilateración está en la capacidad de soportar los sistemas de navegación primarios, secundarios y ADS lo cual hace que sea la mejor elección para no afectar la aviación general y no detener la evolución tecnología de la aviación comercial. La velocidad con la que este sistema trabaja permite con antelación tener una panorámica para el controlador de todas las aeronaves con respectivas identificaciones y así proveer posibles accidentes o incidentes en el momento del vuelo.

5.2 SEGURIDAD AÉREA

Con la utilización de las nuevas tecnologías se ha visto en otros países un gran Incremento de la seguridad aérea hasta el momento aunque son sistemas muy novedosos se tienen algunos antecedentes en comunicación, navegación y vigilancia.

5.2.1 Antecedentes en sistemas de comunicación

- **Antecedentes de VDL 4** Suecia ha sido el país pionero por ser quienes con CNS systems desarrollaron este nuevo sistema de Comunicaciones, por esto en el aeropuerto de Estocolmo Arlanda para finales del 2007 tendrán 12 estaciones en tierra que permitirán aumentar la eficiencia de tráfico aéreo, lo que genera mayores oportunidades de ahorro en operaciones para las aerolíneas, menos retrasos, y mayor beneficio para el medio ambiente por que se reducirá el consumo de combustible. Esta red de comunicación pasara a ser operativa totalmente en el 2007. [59]

Suecia será el primer país en el mundo en utilizar las nuevas tecnologías de Comunicaciones y vigilancia con ADS-B. Se utilizara la navegación por satélite, junto con los enlaces de datos, un sistema que se espera sea complemento a las tradicionales bases de control por radar y que constituye el primer paso hacia la vinculación de sistemas de tráfico aéreo.

[59] http://www.aena.es Disponible octubre 2008

La retribución a las empresas en disminución de costos de operación se verá en corto plazo, ya que, con el enfoque ecológico que tiene las empresas en ahorro de Combustible, con el nuevo sistema de comunicación VDL 4 se ahorrara unos 250 litros aproximadamente, por (Scandinavian Airlines System) en los primeros 4 aviones B737 de su flota. Una de las razones por la cual se tenga gran interés en la nuevas tecnologías de comunicación es que a nivel mundial ha habido un aumento en el trasporte aéreo, solo en Europa las autoridades esperan que se dupliquen las actividades de aquí al 2020. Además Europa es uno de los continentes con la densidad de aeropuerto y de vuelos internacionales en el mundo y esto obliga a que se generen sistemas que aumenten el número de aeronaves a controlar y vigilar.

En Suecia país pionero CNS System lleva seis años desarrollando soluciones de tráfico aéreo y vigilancia, parte del trabajo fue patrocinado por la unión europea y por eurocontrol.

Para el desarrollo de estos proyectos eurocontrol a realizado varios proyectos con el fin de demostrar la seguridad que estos sistemas tendrán, uno de estos proyectos fue NEAN (North European ADS-B Network) el cual implicaba la implantación de una infraestructura de prueba de equipos STDMA, incluyendo estaciones de tierra, aeronaves y vehículos moviéndose en el aeródromo. La infraestructura de pruebas se extendía por Dinamarca, Alemania y Suecia, figura 63. Los principales miembros eran Lufthansa, SAS y las autoridades de aviación civil alemana, sueca y danesa.

Figura 63. Área de cobertura del proyecto NEAN a FL 330



Fuente: LFV. [Articulo internet] http://www.lfv.se/en/Start-page/Press/Pressmeddelanden-LFV/54038/ [consulta: 14 octubre de 2008]

Para lograr este objetivo se estableció un sistema experimental, desarrollado como prototipo, el cual incluía una red de estaciones de tierra en tres países (Alemania, Dinamarca y Suecia) y sistemas de aviónica instalados tanto en aeronaves como en vehículos terrestres del aeropuerto. Así, en el proyecto se instalaron equipos STDMA y pantallas de cabina en aeronaves tales como Fokker 28, DC9 y 747

Además, el sistema también incluía actividades de certificación y validación. En total, el sistema experimental consistía en:

- 15 estaciones de tierra interconectada.
- 16 aeronaves equipadas con transpondedores.
- 30 vehículos terrestres equipados con transpondedores GNSS.

Se destaca que el elemento clave de todo este sistema experimental se encontraba en el transpondedor GNSS empleando STDMA (VDL Modo 4).

Con todo esto se pretendía mostrar la viabilidad de la aplicación de los nuevos conceptos en el Core Area. Así, se transmitieron los siguientes datos a/desde usuarios móviles:

- Informes ADS-B
- Correcciones diferenciales GPS e información de integridad.
- Datos TIS-B (para vehículos equipados con CDTI)

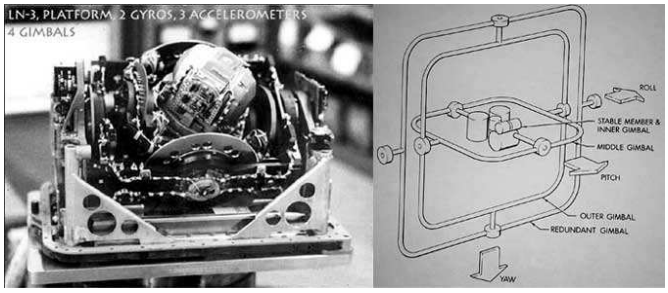
Mensajes de comunicación de formato libre, empleados para la transferencia de mensajes ATIS y PDC a otras aplicaciones (para vehículos equipados con CDTI).

Las ventajas de estos sistemas para Colombia se verían reflejados en la reducción en consumo de combustible y en despacho de las cuales estén equipadas con VDL 4 y aplicación de ADS-B, la urgencia de las Comunicaciones, como lo tiene Europa por su densidad de aeropuertos, Colombia no la sufre, ya que en Colombia los 47 aeropuertos principales quedan relativamente separados.

5.2.2 Antecedentes en sistemas de navegación

- **Antecedentes FMS con GPS+INS** Los primeros sistemas de navegación autónoma se remontan a la Segunda Guerra Mundial y las famosas bombas V1 y V2 alemanas, En aquellos días la electrónica era escasa al borde de inexistente y sin embargo disponían de sistemas de guiado que cometían un error pequeño en un viaje de larga distancia. El método que usaban estas bombas de largo alcance es el conocido como Sistema de Navegación Inercial (INS Inertial Navigation System), en él existen unos sensores inerciales (giróscopos y acelerómetros) a partir de los cuales se puede calcular la posición con respecto al punto de lanzamiento, no se tenía GPS.

Figura 64. Plataforma de giroscopios, acelerómetro y gimbal



Fuente: [60]

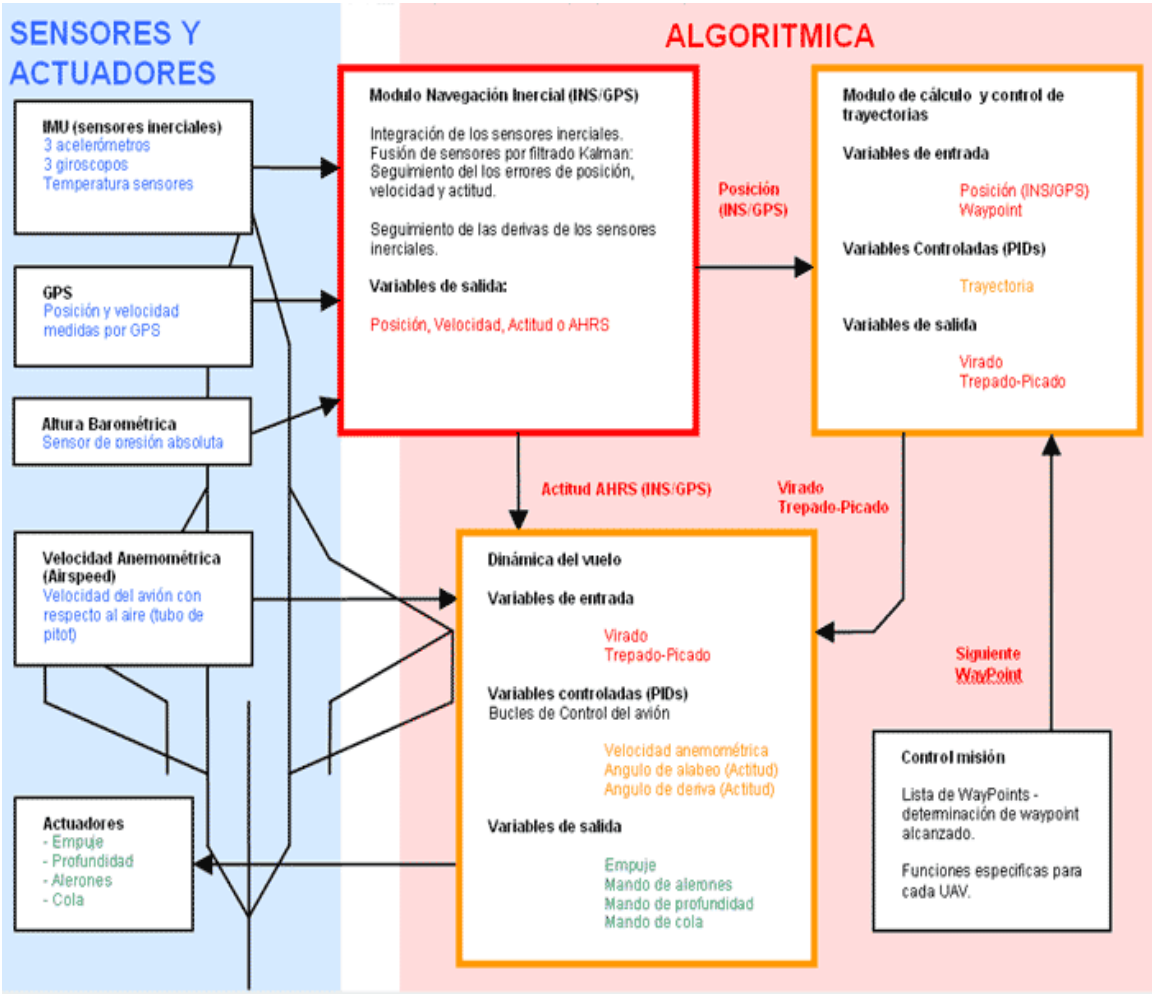
La unidad de medidas inerciales (IMU Inerial Measurements Unit) era un complejo sistema mecánico con motores, volantes de inercia y pesados acelerómetros mecánicos, figura 64.

En su mayoría el uso de la aplicación de GPS/INS se dirige a los UAV, misiles con sistema de guiado y municiones, como medio de control primario, pero esta aplicación, en la aviación comercial, va dirigida hacia la corrección del error que presentan los INS y a la falta de continuidad que presenta el GPS, ambos sistemas por separado presentan inconvenientes pero unidos se complementan para generar un sistema confiable que servirá como medio primario de navegación en el futuro.

Con este tipo de navegación más preciso las empresas de aviación también reducirán costos ya que volaran por una “pista” más exacta y con menos desviaciones o con desviaciones mucho más pequeñas que las que los sistemas INS tienen.
En la figura 65 se muestra la arquitectura así como los elementos interfasados al GPS/INS para reducir el error.

[60] mine flight control. [Articulo en internet] http://www.nmine.com/uav/avionica.htm [consulta 18 octubre de 2008]

Figura 65. Arquitectura del FMS/INS



Fuente: [61]

¿Porqué no se usa directamente la señal del GPS?, la señal de GPS que se muestra ya está muy procesada por un algoritmo basado en Kalman (la señal original es muy ruidosa), este algoritmo da una señal normalmente a 1HZ (hasta 10Hz para GPS militares pero no por ello m á s precisa que la de 1HZ), lo cual no es suficiente para establecer ningún bucle de control. Sin embargo la señal del GPS (1hz y 5m de error) es increíblemente buena para hacer un seguimiento del

[61] Ibíd.

error de las medidas inerciales, de esta combinación se saca una señal a 500Hz (si la velocidad de proceso dice) de aceleración lineal, velocidad lineal, posición global, aceleración angular, velocidad angular y posición angular del avión, una buena cantidad de datos que permiten hacer cualquier estrategia de control.

En cualquier caso tiene que quedar claro que los datos de GPS solo se usan para calcular los errores del modulo de navegación inercial.

como sistema de navegación primario está siendo utilizado en proyectos como, la estación espacial internacional para la ubicación y toma de fotografías de lugares as precisamente, también la integración de GPS/INS es encuentra en proyectos como el de el Boeing X-37, una aeronave espacial reutilizable que se diseño en cooperación de la NASA en mayo de 1999, se realizaron pruebas en el X-40A un vehículo de pruebas que tenía la misma aerodinámica del X-37 para evitar riesgos en el programa, el vehículo X-37 es en un 85% a escala del X-37. En pruebas realizadas lanzando de un helicóptero desde 15000 Ft la aeronave no tripulada busca de forma autónoma las pista de aterrizaje de forma similar a una aeronave convencional, en esta aeronave se utilizaron GN&O (Guidance, Navigation & Control) algoritmos, software, CADS (Calculated Air Data System), SIGI (Space Integrated GPS/INS), sistema principal para la navegación autónoma de este prototipo de trasbordador.

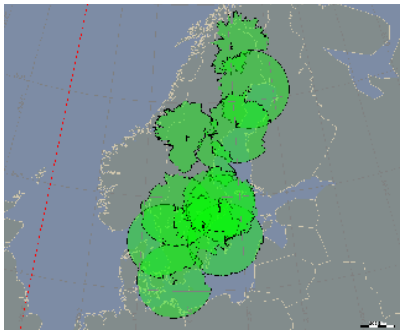
Al realizar el estudio y ver que en proyectos tan especiales como son los trasbordadores de la NASA, el proyecto de la Boeing X-37 nave espacial reutilizable y proyecto que tiene la milicia de Estados Unidos para utilizar el GPS/INS como instrumento para guiar misiles y AUV´s, el sistema de GPS/INS da una mayor confianza y exactitud en los sistemas que se instalen. En todos los proyectos que se investigaron fueron seleccionados para reducir el error generado por los sistemas INS y en búsqueda de una mayor precisión.

5.2.3 Antecedentes en sistemas de vigilancia La técnica de vigilancia aérea ADS-B está siendo introducida con gran determinación en Australia, donde se ha lanzado un ambicioso programa de implantación. Por su parte, Eurocontrol ha lanzado el programa CASCADE orientado hacia la introducción de la ADS-B en Europa. En España ya se tienen algunos proyectos para la utilización de este sistema de vigilancia, Ejemplos de proyecto en los que Aena (aeropuertos españoles y navegación aérea) ha participado son los siguientes:

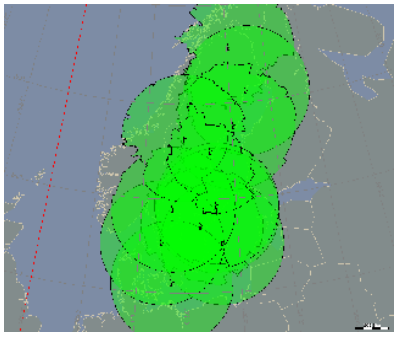
- **SMAA *(Study of the Mediterranean and Adjacent Areas for ADS)*:** es un estudio realizado para Eurocontrol por un consorcio de empresas europeas, formado por Aena, la francesa STNA, la italiana ENAV y la griega HCAA. Ha analizado las infraestructuras existentes en el área mediterránea, sus limitaciones y las posibles soluciones ofrecidas por la ADS.

- **ADS-MED *(Study for ADS Deployment Programme in the Mediterranean Area)*:** ha estudiado el impacto que producirá la introducción de ADS en los sistemas de procesado de planes de vuelo y datos de vigilancia.
- **MEDUP *(Mediterranean Update Programme)*:** ha instalado una red de estaciones ADS-B en toda la cuenca Mediterránea y ha equipado una serie de aeronaves con ADS-B y CDTI. Aena ha sido uno de los miembros de más peso en este programa.
- **MFF *(Mediterranean Free Flight)*:** Ha definido, probado y validado las aplicaciones y procedimientos relacionados con el *free flight* en el espacio aéreo mediterráneo.
- **SEAP *(Large Scale South European ADS Pre-implementation Programme)*:** Este proyecto ha permitido identificar escenarios concretos para la implantación de la ADS-B en España y Portugal. Aena ha actuado como líder de la primera fase de este proyecto.

Figura 66. Cobertura de ADS-B en Suecia



Mapa que muestra las estaciones terrestres que abarcan 3000 m de la isla.



Mapa que muestra las estaciones en tierra que cubre de 10000 m de isla.

Fuente:[62]

En la actualidad hay sistemas de ADS B instados en el mundo desde el año 2006, hasta la actualidad. Los países que tiene el sistema de ADS-B son los siguientes:

Tabla 18. Países que cuentan con el sistema de ADS

país	Lugar / empresa	Fecha instalación
Pakistán	Autoridad de aviación civil de Pakistán	mayo 2008
Bulgaria	ATSA	marzo 2008
Isavia	aeropuerto Reykjavik	septiembre 2007
Perú	fuerza aérea de Perú	Julio 2008
Abud Dhabi	Autoridad de aviación civil general de abu Dhabi	2007
Indonesia	Autoridad de desarrollo industrial de Batán	2006
Bosnia	BHDCA	2008
Kingdom	Eurocontrol/Nats	2005 - 2006

[62] Gobierno de España ministerio de fomento, Op.cit., Articulo en internet

7 CONCLUSIONES

Los beneficios del nuevo sistema de Comunicaciones por medio de datos, los enlaces entre los sistemas automatizados terrestres y de abordo serán más directos y eficaces. La tramitación y transferencia mejoradas de datos entre explotadores, aeronaves y proveedores de Servicios de Tránsito Aéreo, aliviará la congestión de los canales de voz, reducirá la posibilidad de cometer errores y permitirá un enlace más eficiente entre los sistemas terrestres y los sistemas de abordo. Todo lo cual favorecerá la prestación de la Gestión de Tránsito Aéreo (ATM).

Los beneficios del nuevo sistema de navegación en cuanto a disponibilidad, capacidad de guía y posición mejorada en cualquier parte del mundo, incrementará la eficiencia de las operaciones, reduciendo el tiempo de vuelo y el consumo de combustible requerido, por medio de una navegación más precisa. Los vuelos que tengan alguna limitación por razones de peso, podrán sacar ventaja de la reducción en los requisitos de combustible, incluyendo reservas por contingencia, incrementando en consecuencia la carga paga y las ganancias.

También habrá de tenerse en cuenta la disponibilidad de guía de no-precisión para aquellas pistas que carezcan de ayudas a la navegación terrenas o que están servidas por ayudas a la navegación no confiables, lo que reducirá demoras, altercados, sobrevuelos y cancelaciones por mal tiempo. La disponibilidad de capacidad de aproximación de precisión soportada por el GPS+INS en el FMS, también ofrecerá ventajas operacionales sobre los equipos actuales.

En consecuencia, la capacidad de proveer guía de aproximación para más aeropuertos podría atraer tráfico de aquellos en donde las demoras son comunes por la congestión. Reduciéndolas, los operadores ahorrarán tiempo de vuelo y combustible requerido.

El eventual uso del GPS/INS para todas las fases del vuelo permitirá ahorros a los operadores debido a la reducción en los tipos de equipos de abordo. Esto disminuirá costos de mantenimiento y capital. Las técnicas avanzadas de integración con Sistemas de Referencia Inercial (IRS) posibilitarán la operación con sensores inerciales más baratos.

La disponibilidad de navegación satelital permitirá la gradual desactivación y eventual eliminación de las ayudas terrestres. Esto abaratará costos, por lo menos a mediano y largo plazo, proporcionando significativos ahorros a proveedores de servicio y usuarios.

En cuanto a los beneficios del nuevo sistema de vigilancia, la utilización de la ADS, el Control de Tránsito Aéreo aplicado en espacios aéreos sin cobertura radar (basado en reportes a voz de pilotos y estimas de tiempo de pasaje de pilotos/controladores) evolucionará hasta brindar servicios muy similares a los proporcionados por el control radar, lo que incluye la visualización de la presentación de la posición de la aeronave en una pantalla en tierra (presentación seudo-radar).

El uso de la ADS conlleva una reducción en los mínimos de separación utilizados en espacios aéreos no-radar. Se podrá reducir la actual separación reglamentaria sobre espacios aéreos oceánicos (10 minutos longitudinal y 60 NM lateral) a la mitad, duplicando la capacidad de las rutas oceánicas.

También, con la ADS se aumenta la flexibilidad operacional del Control de Tránsito Aéreo, ya que los controladores pueden responder de mejor manera a las preferencias de vuelo de los usuarios.

La reducción de costos de mantenimiento en los radares secundarios por la utilización de Multilateración es casi tres veces menor que los actuales radares secundarios ya que esto tiene muchas partes móviles, como se mostró a largo plazo, 15 años, el mantenimiento se reduce también. Es una muy buena opción en cuanto a las aeronaves pequeñas ya que estos no requerirán equipos adicionales y con los transponder actualmente utilizados se podrá asegurar la vigilancia de estas aeronaves.

8 RECOMENDACIONES

8.1 COMUNICACIONES Las comunicaciones son algo importante en nuestro país pero son un tema un poco más relevante y de poco interés para las empresas, siendo un tema que en su momento no es mandatorio o que reduzca significativamente los costos de operación o mantenimiento. Actualmente las Comunicaciones se han llevado bien en Colombia ya que en nuestro país la cantidad de aeropuertos es reducida en comparación con la de Europa, la recomendación que se da en relación con los estudios técnicos y los costos antes señalados es que las empresas que realicen viajes internacionales y sobre todo a Europa o que se planeen en el futuro abrir rutas oceánicas se implante el sistema de VDL modo 4 así en estas aeronaves, así mismo en el futuro pensar en pedir las aeronaves que lleguen nuevas al país que tengas equipos de Comunicaciones que soporten por los menos los tres sistemas, que ya los hay en el mercado (Tabla 25).

Para Colombia será las comunicaciones lo último en implantarse pero las empresas pueden ir equipando sus aeronaves de forma que cuando la tecnología llegue al país ya se pueda utilizar con equipos que soporten los tres modos de VDL.

Se recomienda también que los pilotos sean actualizados en los nuevos sistemas que en este momento existen y en que a futuro con la implantación de VDL 4 las Comunicaciones serán más por mensajes en el FMS que por voz lo que significa una reducción en los accidentes por interpretación.

Para las empresas la implantación de estas tecnologías generan unos costos que serán retribuidos a corto plazo ya que gracias a ellas las empresa puede conocer más exactamente: el consumo de combustible, los ciclos de los motores y los demás componentes, así como optimiza los parámetros de vuelo y planear rutas más cortas.

Se sabe que los contratos con empresa como SITA y otras que prestan los servicios de comunicación digital, en estos momentos tienen costos elevados, pero como los precios tienden a bajar cuando se comienza a popularizar la tecnología para las empresas, lo mejor es que se vayan equipando o que aprovechen cuando los equipos tengan que ser dados de baja para cambiarlos por equipos que soporten los 3 modos de VDL.

8.2 NAVEGACIÓN. La recomendación principal de navegación es para la aeronáutica civil en la cual se apruebe al GPS/INS como medio primario de navegación, este es un sistema que ha probado ser muy confiable y que se utiliza, como ya se mencionaba, en proyectos tan especiales como el del X-37 un trasbordador espacial de la Boeing y la estación espacial internacional.

Al momento que la aeronáutica Civil apruebe la navegación de GPS/INS, o de un sistema GNSS, las empresas comenzarán a notar la reducción en combustible ya que al ser más precisa la posición de la aeronave y tener un error muy pequeño que se corrige cada vez en menos tiempo las rutas serán más cortas en tiempo y más exactas lo que reduce ciclos en los motores y combustible además de generar menos retraso y mayor número de vuelos.

Al igual que la comunicación se sugiere a las compañías que cuando se adquieran aviones nuevos, se solicite que tengan estos equipos para cuando la Aeronáutica

Civil de Colombia autorice la navegación con GPS/INS como medio primario de navegación las naves estén equipadas.

8.3 VIGILANCIA. Como se conoció este año en Colombia se presentaron varios problemas con los radares secundarios instalados por la empresa Lockheed Martin (E.U.) la cual subcontrató a la empresa Indra, de estos radares se sabe que su vida útil es de más o menos de 15 a 20 años, durante los cuales se sugiere se evite la compra de más radares para Colombia de esta tecnología, como se vio en el estudio de los datos técnicos (4.6.1) así como el análisis de costos (Tabla 26) la Multilateración es la forma más batata y segura de proveer la vigilancia de aeronaves para Colombia. El presupuesto que se dio en el año 1994 fue de cuarenta mil millones de pesos y al presente año por sesenta y un mil millones de pesos[63] se han realizado por conceptos de Seguridad Aérea y fallas de radar.

La mejor decisión que se puede tomar para Colombia en la adquisición de radares secundarios es la de remplazarlos paulatinamente con ADS-B a corto plazo cuando la vida útil se cumpla en los actuales radares secundarios y a largo plazo remplazar no sólo los radares secundarios sino los primarios, ya que en países de Europa ya se utilizan como medio único de vigilancia de aeronaves. También se debe hacer un estudio en cuanto a la ubicación de las antenas de ADS-B se refiere, en este momento en Colombia existen una gran cobertura de radares pero también existen zonas que por la geografía nacional impiden un adecuada vigilancia, con la Multilateración y la vigilancia de ADS-B se reduce el número de antenas que debe de colocarse ya que tienen una mayor cobertura que los radares (ver Figura 66) y la señal de ADS-B no se degrada con la distancia siempre es la misma y constante.

[63] EL TIEMPO. Fallas en radar de aeropuerto Eldorado provocan choque entre controladores y la Aeronáutica Civil, Febrero 24 de 2008. P 6.

ANEXOS

ANEXO A COSTOS DE EQUIPOS

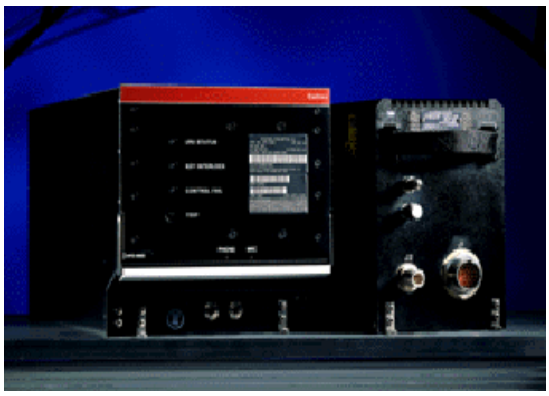
Costos equipos ACARS

En la actualidad Colombia en la flota perteneciente a las empresas AVIANCA y AEROREPÚBLICA cuentan con el sistema de ACARS en algunas de sus aeronaves. Avianca opera 13 aviones FK 100 con sistema ACARS funcionando en frecuencias VHF, usando el sistema VHF 3 , la nueva flota de Airbus 319/320/330 toda va a llegar con sistema ACARS funcionando, (aprox. 30 aviones), la flota de Aerorepública cuenta con 4 MD's 82-83 y 10 Embraers 190 equipados con el sistema.

Tabla 19. Costo equipo de ACARS

	Collins HFS-900D ver figura 67
Tipo	VDL modo 1 transponder
Costo equipo	57.000 dólares
Costo mensual de servicios de data link con SITA	700 dólares por avión
Frecuencia	2.0 to 29.9999 MHz
Peso	27.7 lbs
Potencia de salida (ajustable)	115 V ac
Limitaciones	No opera con VDL 2,3,o 4

Figura 67. HFS-900D



Fuente: Rockwell Collins. [Foto en internet]
http://www.rockwellcollins.com/products/cs/at/avionicssystems/info_mgmt/hfs900/index.html
[consulta: 15 agosto 2008]

Costos equipos GPS

Tabla 20. Costo equipo de GPS

	Garmin GNS-530AWver figura 68	Honeywell KLN 35A GPS figura 69	Bendix/King KLN-94 Figura 70
Tipo	GPS	GPS	GPS
Costo equipo	15,489 dólares	3,489 dólares	4,989 dólares
Altitud máxima	----	35000 Ft	Hasta 55000 Ft
Rango de temperatura	-55 A 70C (en funcionamiento)	-20℃ to +55℃	-20 a 55 C
Peso	9.5 lb (4.3 kg)	2.1 lbs. (0.94 kg)	3.60 lbs (1.63 kg)
Dimensión	15.9 x 11.7 x 27.9 cm	---	6,31 x 2,00 x 10.72 pulg
Poder de transmisión	14-28 V DC	14 or 28 VDC	13.75 VDC @ 2.5 A Nominal 27.5 VDC @1.25 A Nominal
Limitaciones	---	--	

Figura 68. Garmin GNS-530AW



Fuente: Garmin. [Foto en internet] http://www.sarasotaavionics.com/product.aspx?id=726 [consulta 19 agosto de 2008]

Figura 69. Bendix/King KLN-94



Fuente: Bendix. [Foto en internet] http://www.sarasotaavionics.com/images/productimages/KLN35A.jpg [consulta 23 agosto 2008]

Figura 70. KLN 94



Fuente: Taller de reparaciones Aviónica General de Colombia

Costos equipos TCAS II

Actualmente en Colombia nuestras aeronaves en su gran mayoría se encuentran equipadas con el sistema Tcas II transponder modo S a continuación se muestra una tabla comparativa de tres sistemas de Tcas II diferentes pero que cumplen con la misma función en las aeronaves.

Tabla 21. Costo equipo de TCASII

	Bendix king TPU-67A ver figura 71	Collins Tcas 4000 Ver figura 72	Collins Tcas 94 Ver figura 73
Tipo	Tcas II transponder	Tcas II transponder	Tcas II transponder
Costo equipo	98,708 dólares	149.000 dólares	105.000 dólares
Rango de Frecuencia	----	1090 +/- 3 MHz	1090 +/- 3 MHz
Rango de temperatura	-55 A 70C (en funcionamiento)	-55 A 70C (en funcionamiento)	-55 A 70C (en funcionamiento)
Peso	17,20 lbs	8,0 kg o 17,7 lb	8.3 kg (18.2lb)
Dimension	4,98 x 7,70 x 15.16 pulg	7,62x5,01x12,56 pulg	7.62x7.76x12.56 pulg
Poder de transmisión	28 VDC (22-30VDC), 70 vatios como máximo	28 V DC 4A	28 V DC 4A
Limitaciones	---	---	---

Figura 71. Bendix king TPU-67A



Fuente: Bendix King. [Foto en internet] http://www.seaerospace.com/lc/cart.php?target=productDetails&model=TPU-67A&substring=tpu67a [consulta 11 agosto de 2008]

Figura 72. TCAS 4000



Fuente: Collins. [Foto en internet] http://www.rockwellcollins.com/ecat/BR/TCAS-4000.html [consulta 11 agosto de 2008].

Figura 73. TCAS 94



Fuente: Collins. [Foto en internet] http://www.rockwellcollins.com/ecat/BR/TDR-94_94D.html?smenu=111 [consulta10 agosto 2008]

Costos equipos para VDL modo 4 equipos abordo

Después de desarrollar un estudio de los diferentes sistemas de comunicación se concluye que el sistema VDL 4 es la mejor opción, los costos del equipo abordo dependiendo el fabricante permite ver una gran variedad de precios.

Tabla 22. Costos equipos para VDL 4

	C.N.S systems VDL 4000 ver figura 74	VHF 2100 high speed multi-mode data radio ver figura 75	VHF 2100 E high speed multi-mode data radio
Tipo	VDL modo 4 transponder	VDL modo 2, 3 y 4 transponder	VDL modo 2, 3 y 4 transponder
Costo equipo	2.300 euros	55.293 dólares	58.427 dólares
Frecuencia	118-137 MHz	118-137 MHz	118,000 a 151,975 MHz
Peso	2.8 kg	3.76 kg	3.76 kg
Dimension	125x80x225 mm	---	---
GNSS	Receptor interno GNSS	---	---
Data rate	19.2 Kbps	Modo 2: 31.5 Kbps Modo 3: 31.5 Kbps Modo 4: 19.5 Kbps	Modo 2: 31.5 Kbps Modo 3: 31.5 Kbps Modo 4: 19.5 Kbps
Poder de trasnsmision	---	Máximo corriente de entrada en 27,5 V dc, 0,8 amperios modo de recibir; 6 amperios modo de transmitir	Máximo corriente de entrada en 27,5 V dc, 0,8 amperios modo de recibir; 6 amperios modo de transmitir
Limitaciones	---	---	

Figura 74. Transponder VDL modo 4



Fuente: CNS systems [Foto en internet]. http://www.cns.se/aviation/products.php?path=4|Mobile+Transponders¤&sgid=16 [consulta: 6 agosto 2008]

Figura 75. VHF 2100 high speed multi-mode data radio



Fuente: Collins [Foto en internet] http://www.rockwellcollins.com/search.asp?txtSearch=vhf+2100 [consulta 4 agosto 2008]

Costos equipos FMS

Tabla 23. Costos equipos para FMS

	Honeywell GNS-Xls ver figura 76	Collins FMS 3000 Figura 77
Tipo	FMS	FMS
Costo equipo	50.968 dólares	45900 dólares
Peso	7.0 LBS(3.18KG)	0.86 kg(1,9 lbs)
Dimension	4.5X5.75X6.51 in 11.439X14.605X16.535 cm	43,28x221.95x153.92 mm 1,79x8,74x6,06 in
Poder de trasnsmisión	18-32 VDC 26VAC	5 V DC, 2,0 A máx 12 V DC, 0,75 A máx -12 V DC, 1,25 A máx
interface	DME, VOR, GPS, IRS,	DME, VOR, GPS, IRS,

Figura 76. GNS-Xls



Fuente: Bendix King. [Foto en internet] http://www.seaerospace.com/lc/cart.php?target=productDetails&model=GNS-XLS&substring=gns+ [consulta 2 septiembre 2008]

Figura 77. FMS 3000



Fuente: Collins. [Foto en internet] http://www.rockwellcollins.com/ecat/BR/FMS-3000_PrintFriendly.html [consulta: 7 septiembre 2008]

Costos equipos para ADS-B en tierra

CNS actualmente tiene en el mercado equipos para soportar ADS-B Y VDL MODO 4, el equipos se llama VDL 2000/GSI ver figura 85, esta estación terrestre está adaptada para los servicios de tierra y coordinación de todas las actividades de las aeronaves en el aeropuerto, lo que permite a los usuarios compartir y beneficiarse de la información disponible del aeropuerto.

Figura 78. VDL 2000 Estación de Tierra



Fuente: CNS System. [Foto en internet]
http://www.cns.se/aviation/products.php?gid=17&path=4|Ground%20StationsVDL%202000/GSI
[consulta 1 agosto de 2008]

Tabla 24. Especificaciones y costos

	C.N.S systems VDL 2000 ver figura 78	COMSOFT Outdoor ADS-B , multilateración ver figura 79
Tipo	Estación de tierra para ADS B	Estación de tierra para ADS B
Costo equipo	33.000 euros	65.379 euros
Costo de antena y cableado	3.000 euros	25.890 euros
Frecuencia	118,000 a 136,975 MHz	1090 Mhz
Separación entre canales	Separación entre canales de 25 kHz	Separación entre canales de 25 kHz
Sistema de modulación	GFSK	-
Receptor GNSS de referencia	Diferencial GNSS (GNS-B)	-
Servicios	ADS –B GNSS-B PUNTO A PUNTO	ADS –B Multilateración
Potencia de salida (ajustable)	30 - 40 dBm (1 - 10W)	100-260 VAC 50-60 Hz or 24 VDC (+/- 4 V)

Figura 79. Estación de ADS-B y multilateración



Fuente: Comsoft. [Foto en internet] www.comsoft.de [consulta 3 octubre 2008]

Costos equipos para ADS-B abordo

Hoy en día un transceptor de acceso universal (UAT) el eje de la tecnología ADS-B cuesta alrededor de $ 8000 dólares instalado. Para obtener todos los beneficios de la ADS-B se necesita una pantalla multifunción la cual muestra textual y gráficamente varios parámetros, a este tipo de instalación se debe añadir alrededor de los $ 3,000 o más al costo del equipo

Para el sistema de ADS-B en tierra la estimación de costos es la siguiente.

Tabla 25. Costos para equipos ADS –B

	C.N.S systems VDL 4000 ver figura 78	Garmin GDL 90 ver figura 80	Filser TRG 80
Tipo	VDL modo 4 transponder	Universal access transeiver	Mode S extended squitter
Costo equipo	2300 euros	6.989 dólares	2700 dólares
Frecuencia	118-137 MHz	978 MHz	1090 +/- 1 MHz
Peso	2.8 kg	---	0.75 kg
Dimension	125x80x225 mm	8.9 x 18.8 x 32	3.9 x 12.4x17.4
GNSS	Receptor interno GNSS	WASS enabled GPS	Receptor interno GNSS
Data rate	19.2 Kbps	Up to 1 Mbps	Up to 1 Mbps
Poder de transmisión	---	40 Watts	20 watts
Limitaciones	---	Us market only	Only ADS-B out (receiver also needed

Figura 80. Garmin GDL 90 (ADS-90B)



Fuente: Garmin. [Foto en internet]
http://www.sarasotaavionics.com/product.aspx?id=3. [Consulta: 1 agosto 2008.]

Costos equipos para multilateración

Para el sistema de multilateración en tierra la estimación de costos es la siguiente.

Tabla 26. Costos de multilateración

Sistema de multilateración	Adquisición de la antena	Costo anual de mantenimiento	Costo a 15 años por mantenimiento
	1,250,000 euros	50.000 euros	2,000,000 euros

Fuente:[64]

- Comparación de costos con el sistema de radar.

Tabla 27. Costos del radar

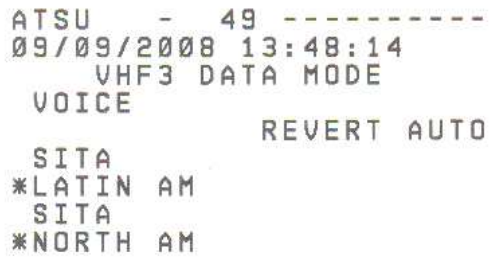
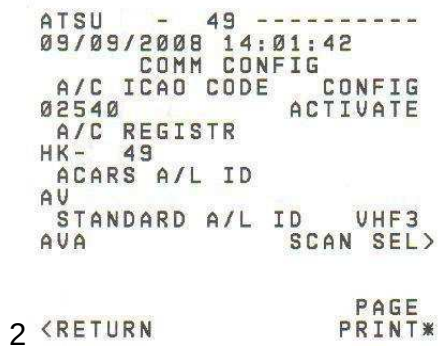
Sistema del radar	Adquisición de la antena	Costo anual de mantenimiento	Costo a 15 años por mantenimiento
	2,250,000 euros	270,757 euros	6,561,355 euros

Fuente: [65]

[64] multilateración y ADS-B , Op.cit., Articulo en internet.

[65] multilateración y ADS-B , Op.cit., Articulo en internet.

ANEXO B LISTA DE REPORTES DE FMS.

Reporte 1	Reporte
	

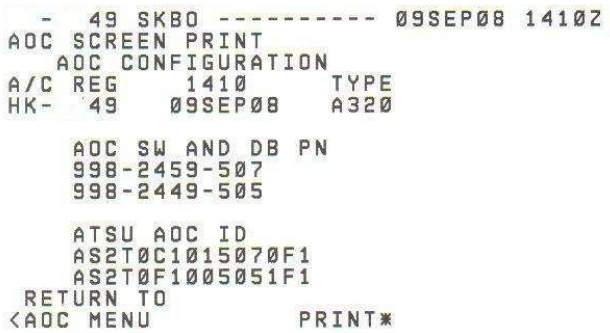
En el reporte 1 se muestra la primera página que se revisó buscando como estaba configurado el VHF 3 y con qué empresa estaba realizándose el servicio, en este reporte como en el resto se imprime: la identificación de la aeronave, en todas las impresiones sólo se muestra el último número 49, la fecha en la que se realizó la prueba, la página en la cual estaba el FMS en este caso el reporte 1 muestra que es la pagina de VHF 3 que está configurado para voz también o para datas y la empresa y las bases de datos que tiene guardas la empresa es SITA y tiene las base de datos de las estaciones de norte y Latino América.

En el reporte 3 se muestra la configuración de las Comunicaciones que en ese momento se encontraban disponibles, además de la identificación de la aeronave, menos los últimos 3 dígitos que fueron borrados, el número de registro de la aeronave y los sistemas que tiene disponibles para comunicación en este caso ACARS y VHF 3 los cuales están disponibles para su uso.

En el reporte 3 se muestran los números de control de las operaciones aeronáuticas y toda su configuración, número de registro de la aeronave, los

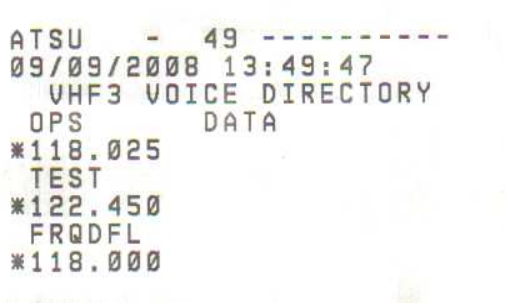
ATSU (Comunicaciones de los servicios de tránsito aéreo), así como también muestra el tipo de aeronave.

Reporte 3



En el reporte 4 del FMS de un A320 se muestra la identificación de la aeronave así como las frecuencias de VHF3 de prueba en las cuales se realizaron los test.

Reporte 4.



Reporte 5.



En el reporte 5 que fue impreso en la impresora del FMS ubicado en el pedestal central del A320, es la página de estatus de Comunicaciones que están disponibles en la aeronave, además se sabe que por VHF3 el Datalink o ACARS está disponible tanto para la comunicación de datos como la comunicación de voz en dado caso que las Comunicaciones por VHF 1 y 2 no sea posible, en el momento en el cual se realizaron las pruebas SATCOM y HF no estaba disponibles o por no ser necesario en el momento o por no ser necesario para las operaciones.

En el reporte 6, disponible en el FMS para mirar los datos que con los inerciales alimenta al FMS para ubicar las estaciones a las cuales puede ir conectándose sin que la señal se degrade, para realizar estas pruebas fue necesario energizar la aeronave así como iniciar los inerciales de la aeronave para poder conocer las coordenadas en las que se encontraba la aeronave y así conocer las estacones cercanas y las pistas que tenia guardadas de las estaciones en tierra, como también reconocer las aeronaves que se encontraban en ese momento como posible amenaza de colisión.

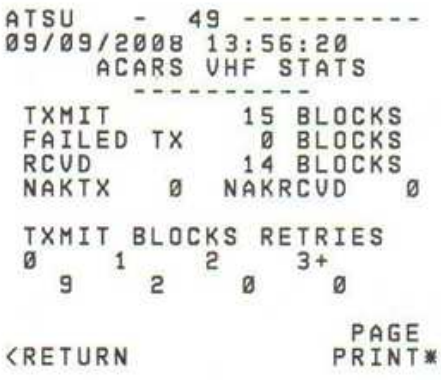
En esta aeronave muchos si no la mayoría de los sistemas están interconectados al FMS y es posible interrogar cualquier sistema y ver las fallas así como la solución y la referencia a los manuales, que se muestran en el Airman, para su detección y solución de la falla.

Además la aeronave está en la capacidad de trasmitir datos desde el momento en el cual se cierran las puertas hasta la llegada al gate de destino, con esto la aerolínea puede llevar un completo control del mantenimiento así como de los procesos operacionales que se esté llevando en la aeronave, conociendo los tiempos exactos de los ciclos de los motores, los tiempos en los que fueron cerradas las puertas, los parámetros de motor que fueron aplicados durante los vuelos es posible realizar la planeación de mantenimiento y la planeación de los vuelos de la mejor manera y de la forma más rápida para reducir el tiempo que la aeronave permanece en tierra.

Reporte 6.



Reporte 7.



Las pruebas que se realizaron fueron ejecutadas en una aeronave que tenia pocos ciclos de vuelo pero en los cuales se pueda ver el historial, reporte 7, de los bloques que fueron trasmitidos por ACARS, así se muestra que se transmitieron 15 bloques de datos de los cuales fueron recibidos 14 y que el fallo de los bloques no fue ninguno. Durante la implantación de este sistema se presenta fallas de las cuales pueden dar alertas que son frecuente y es también por el hecho de la integridad del sistema pero estas fallas se van superando con las actualización de los software. Aun así el ahorro de tiempo en las operaciones de mantenimiento se reduce de forma considerable, ya que las fallas pueden ser trasmitidas por el AIRMAN a las estaciones necesarias de la empresa como ingeniería, motores o las que la empresa considere necesarios, así cuando las aeronave llega a tierra el técnico ya ha recibido la falla, ya ha revisado el sistema y con los formatos necesarias para realizar las tareas sobre la falla recibida.

Reporte 8.

```
ATSU  .-  49 ----------
09/09/2008 13:59:03
STATISTICAL REPORT - FLIGHT NUMBER : ----------
START DATE : --/--/----   TIME : --:--:--
END   DATE : 09/09/2008   TIME : 13:59:03
VHF-618 STATISTICAL DATA
     DM  DB  UM  UB  1T  2T  3T 4T  DNK UNK DUB VAT4 VAC1 VAT10
IN:   5  15   0  15   9   2   0   0   0   0   0    0    0     0
OUT:  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
OFF:  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
ON:   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
SATCOM-618 STATISTICAL DATA
     DM  DB  UM  UB  1T  2T  3T 4T  DNK UNK DUB SAT4 SAC1 SAT10

IN:   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
OUT:  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
OFF:  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
ON:   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
HF-618 STATISTICAL DATA
     DM  DB  UM  UB  1T  2T  3T 4T  DNK UNK DUB HAT4 HAC1 HAT10
IN:   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
OUT:  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
OFF:  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
ON:   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0    0    0     0
ROUTER MESSAGES STATISTICS
                                        V    S    H    G
```

Como en el anterior historial de ACARS es posible también ver el historial de las Comunicaciones por SATCOM y de HF, reporte 8, de igual manera esta es una aeronave que el único vuelo internacional que realizo fue el de llegada al país. En este mensaje se incluye la información de el número de vuelo, fecha de inicio y final del reporte, y la hora en el cual fue realizado.

Reporte 9.

```
NUMBER OF DOWNLINKS PROCESSED              0    0    0    5
NUMBER OF DOWNLINKS SENT OK                0    0    0    5
NUMBER OF DOWNLINKS FAILED                 0    0    0    0
NUMBER OF DOWNLINKS PURGED ON NOCOMM       0    0    0    0
NUMBER OF DOWNLINKS PURGED ON FAILED       0    0    0    0
NUMBER OF UPLINKS PROCESSED                0    0    0
NUMBER OF UPLINKS SENT OK                  0    0    0
NUMBER OF UPLINKS REJECTED                 0    0    0
```

En este reporte se muestran el historial de los down y up-link que fueron realizados hasta la fecha de impresión.

Reporte 10

```
ATSU   -  49 ----------
09/09/2008 13:59:45
    VDL MODE 2 STATS
        ----------
 TXMIT          0 FRAMES
 RCVD           0 FRAMES

 N2 ELAPSED     0

 TXMIT FRAMES RETRIES
 0     1      2     3+
   0     0     0     0

<RETURN              PAGE
                     PRINT*
```

```
VHF LINK MANAGEMENT STATISTICAL DATA
FLIGHT LEG DURATION (IN TO IN) : HH:MM:SS
SP ID FREQ        NB      NB      NB      CATB    CATB    IN COMM
                  ACQ     ESTABL  MAINT   HEARD   USED    DURATION
 5    131.725      5       5       5       2       2     00:17:04
NUMBER OF CSC FREQUENCY ACQUISITION:    0
VDL MODE2 STATISTICAL DATA
```

En el reporte número 10 muestra una estadística del sistema de Comunicaciones VDL modo 2, durante la operación de esta aeronave no ha sido necesario la utilización de VDL modo 2 así que las estadísticas de esta sistema está en cero bloques emitidos o recibido, pero es importante resaltar que esta con la opción de recibir además de ACARS la capacidad de manejar la información de VDL modo 2.

BIBLIOGRAFÍA

- Advisory Circular nº 90-RNAV Use of Suitable Area Navigation (RNAV) Systems on Conventional Routes and Procedures

- Anexo 10 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, Telecomunicaciones Aeronáuticas, Volumen I, Radio ayudas para la navegación.

- Avionics Fundamentals. Editorial Jeppesen.1974

- BLAKE, THOMSON, sistemas de Comunicaciones, modulación digital y modems, Roy, segunda edición.

- GREGORY T. FRENCH, Understanding The GPS, An Introduction to the Global Positioning system, GeoResearch inc, primera edicion 1996Pereira,

- HONEYWELL AEROSPACE ELECTRONIC SYSTEMS, Airbus A319/320/321 Flight Management SystemPilot.s Guide, May 2002.

- IEEE, Direct Kalman Filtering Approach For Gps-Ins Integration, mayo 2002.

- J. POWELL. Radio sistemas del Avión. Editorial Paraninfo. 1984

- JULES G. MCNEFF , The Global Positioning System [IEEE], IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 50, NO. 3, MARCH 2002.

- KORS VAN DEN BOOGAARD. Documento IATA, Diciembre 6, 2004.

- KJELLBERG, RIKARD, Master Thesis, Capacity and Throughput using a Self Organized Time Division Multiple Access VHF Data Link in Surveillance Applications, abril 1998

- LOBO PICÓN, JORGE ALBERTO Y MERCHÁN RINCÓN, FABIO ALEJANDRO. Estudio de viabilidad técnica y financiera para la implementación de la tecnología vhf data link “vdl” para servicios de tráfico aéreo de aviación civil en Colombia, marzo 2008

- MOHINDERS S, GREWAL Y ANGUS P ANDREWS, Kalman Filtering - Theory and Practice Using MATLAB, segunda edicion, 2001.

- MOIR IAN AND SEABRIDGE, Military Avionics Systems, editorial Wiley, 2006.

- Revista Mach 82 de iberia, Sistemas de Navegación por Satélite.

- THE TWENTY-FOURTH MEETING OF THE INFORMAL PACIFIC ATC CO-ORDINATING GROUP (IPACG/24)

- MELWYN SAVIO, Choosing the right VHF data link technology for Commercial aviat ion air traffic services, June 1995.

Internet:

- http://www.ads-b.com [Consulta: 19 septiembre de 2008]

- http://www.aena.es/csee/Satellite?pagename=Home [consulta: 30 Septiembre de 2008]

- http://www.aopa.org/whatsnew/newsitems/2007/070118ads-b.html Consulta: 20 septiembre de 2008

- http://www.atns.co.za/index.php/performance/capital-investments/multilateration [consulta: 12 septiembre 2008]

- https://buy.garmin.com/shop/shop.do?cID=195&pID=6422 [consulta: 08 octubre 2008

- http://www.castnav.com/products/cast_3000.html. [consulta: 10 octubre 2008]

- http://www.cns.se [consulta: 10 agosto 2008]

- http://www.eurocontrol.int/link2000/public/standard_page/pilot_atco_mockup.html [consulta: 5 julio 2008]

- http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/AVIACION_CIVIL/NAVEGACION/PROGRAMAS/GALILEO/documentacion.htm [consulta: 15 mayo 2008]

- www.fomento.es/.../ADS/progra_ads_eu.htm. [consulta: 10 septiembre 2008]

- http://www.garmin.com/garmin/cms/site/us/intheair [consulta: 05 octubre 2008]

- http://www.gpsworld.com/gpsworld/article/articleDetail.jsp?id=95325&sk=&date=&&pageID=1&searchString=gps/ins. [consulta: 20 septiembre 2008]

- http://www.medff.it/public/the_programme/technologies/ads_b.asp [consulta: 21 septiembre 2008]

- http://members.optusnet.com.au/~cjr/CPDLC.htm [consulta: 21 julio 2008]

- http://www.multilateration.com/surveillance/multilateration [consulta: 12 septiembre 2008]

- http://www.novatel.com/products/waassystem.htm. [consulta: 27 septiembre 2008]

- http://www.rockwellcollins.com [consulta: 04 octubre 2008]

- http://www.sarasotaavionics.com [consulta 19 agosto de 2008]

- http://www.sita.aero/default.htm [consulta 25 agosto de 2008]

- http://www.seaerospace.com/ [consulta 11 agosto de 2008]