

| | |
|-------|---------------|
| FECHA | Junio de 2008 |
|-------|---------------|

| | |
|------------|--|
| NÚMERO RAE | |
| PROGRAMA | Especialización en Aviónica - Facultad de Ingeniería |

| | |
|------------|--|
| AUTOR (ES) | LOBO Picón, Jorge Alberto y MERCHÁN Rincón, Fabio Alejandro. |
| TÍTULO | 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 |

| | |
|-----------------|---|
| PALABRAS CLAVES | Navegación aérea, seguridad aérea, tráfico aéreo, radioayudas, radiofrecuencias, Future Air Navigation System (FANS), tecnologías de enlace de datos, comunicación aérea, vigilancia aérea, sistemas CNS/ATM, VHF DATA LINK, Programa Link 2000+. |
| | |

| | |
|-------------|--|
| DESCRIPCIÓN | <p>Debido a la congestión de los grandes y pequeños aeropuertos se han desarrollado nuevas tecnologías para comunicación y navegación aeronáutica, las cuales logran reducir la carga de trabajo para pilotos y controladores aéreos. Esto se traduce en un mayor índice de seguridad y eficiencia para el área del transporte aéreo.</p> <p>Las tres tecnologías con mayor desarrollo son VDL Modo 2,3 y 4. Los modos dos y tres considerados como soluciones de comunicación, y el modo cuatro que ofrece además capacidad de vigilancia. Aunque dichas tecnologías se encuentran todavía en prueba y los conllevan un largo proceso de estandarización y certificación, es importante que en Colombia se inicie un proceso de investigación y de selección para poder establecer cuál ó cuáles de esas tecnologías se adaptan mejor a la aviación civil colombiana.</p> <p>Este proyecto proporciona un estudio de viabilidad</p> |
|-------------|--|

técnica y económica de la tecnología VDL (VHF DATA LINK) aproximado, para ser implementado en el servicio de tráfico aéreo colombiano.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- LEN BUCKWALTER, Avionics Training, Systems Installations and Troubleshooting , Second Edition
- ALBERT HELFRICK, Principle of avionics, 2008, Página 270
- MORALES L., JUAN DE MATA. Sistemas CNS/ATM. Aeropuertos españoles y navegación aérea (AENA). 2001, Páginas 44, 55, 73, 77, 83,97.
- SECTRA CORPORATION, VDL 4 Radio design.” Radio Link Design., Junio, 2000.
- ORGANIZACIÓN DE AVIACION CIVIL INTERNACIONAL, Anexo 10 Volumen 3, Capitulo 6 Pág. 392
- INSTITUTE FOR TELECOMMUNICATION SCIENCES. Requirements for an Air-Ground VHF Data Link for Air Traffic Control Applications. September 1974.
- EUROCONTROL, VDL Mode 2 Physical Layer Validation Report, 2006 Página 22
- Textos Científicos, Desplazamiento de frecuencia, Internet Junio 2008 Disponible en:

www.textoscientificos.com/redes/modulacion/FSK

- Textos Científicos, Desplazamiento de Fase, Internet Junio 2008 Disponible en:

www.textoscientificos.com/redes/modulacion/PSK

- Buen Master, Modelo de referencia OSI, Internet Abril 2008, Disponible en:
buenmaster.com/?a=234
- Eurocontrol,, RVSM Home, Internet Junio, Disponible en:
www.ecacnav.com/RVSM
- Eurocontrol, EUR RVSM, Internet Mayo, Disponible en:
www.eurocontrol.int/mil/public/standard_page/rvsm1
- Navigation Systems, Level 3, Internet Mayo, Disponible en:
www.allstar.fiu.edu/aero/DME.htm
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, Internet Mayo 3, Disponible en:
www.aerocivil.gov.co/portal/page/portal/Aerocivil_Portal_Internet
- Colegio Oficial Asociación Española, Internet Marzo 3, Disponible
www.coit.es/publicaciones/bit/bit149/74-77.pdf
- Wikipedia Aircraft Communication Addressing and Reporting System, Internet Marzo 5, Disponible en:
en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_Communication_Addresssing_and_Reporting_Systm
- Wikipedia, Modulación por desplazamiento de frecuencia Gaussiana, Internet Junio 2008
es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_frecuencia_gaussiana
- Scandinavian Flight Operations, Internet Marzo 5, Disponible en:
www.sasflightops.com/
- Eurocontrol, ACARS, Internet Mayo, Disponible en:
www.eurocontrol.int/acars/public/subsite_homepage/homepage.html
- Flttech, Protocolos, Internet : Febrero 2008, Disponible en:
[www.flttechonline.com/news/Safety\(Feb02\).asp](http://www.flttechonline.com/news/Safety(Feb02).asp)
- Advanced Aviation Technology Ltda., Global Airline Operational Communications, Internet Marzo 2008, Disponible en:
www.aatl.net/publications/global-AOC.htm

- Parkairsystems, VDL Mode 2, Internet Mayo 2008 , Disponible en:

www.parkairsystems.com/index.asp?id=257

- ARINC, VHF Digital Link Mode 2, Internet Mayo 2008, Disponible en:

www.arinc.com/products/voice_data_comm/vdlm2.html

- Eurocontrol, VDL Mode 2 System Description, Internet Mayo 2008, Disponible en:

www.eurocontrol.int/vdl2/public/standard_page/System.html

- Wikipedia, Forward Error Correction , Internet Mayo 2008, Disponible en:

es.wikipedia.org/wiki/FEC

- RTCA, DO-224A, Signal-in-space minimum aviation system performance standards (masps) for advanced vhf digital data communications including compatibility with digital voice techniques, 2000, Páginas 70, 310, 311,
- ALOKE ROY, ACARS to VDL Transition Plan. Enero 28, 1998, Página 5.
- BOEING, Migration to VDL Mode – 2, 1998, Internet Mayo 2008, Disponible en:

www.boeing.com/commercial/caft/reference/meetings/98_03_12/Vaughn.pdf

- Parkairsystems, VHF Digital Link Mode 3, Internet Mayo 2008, Disponible en:

www.parkairsystems.com/index.asp?id=274

- NASA, Glenn Research Center, Modeling and Simulation Development Of Very High Frequency Digital Link Mode 3, Abril 29 - Mayo 2, 2002
- Parkairsystems, VHF Digital Link Mode 3, Internet Mayo 2008, Disponible en:

www.parkairsystems.com/index.asp?id=288

- Eurocontrol, VDL4, Manual_Implementation_Chapter 3, Internet Mayo 2008, Disponible en:

www.eurocontrol.int/vdl4/public/standard_page/standards.html

- Eurocontrol, VDL4, System Description , Internet Mayo 2008, Disponible en:

www.eurocontrol.int/vdl4/public/standard_page/systemdescription.html

- MITRE, Air Transport Avionics Cost Estimation Related to Future Communication Transitions: Coordination Draft, Internet Mayo 2008, Disponible

www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers_01/nickum_intelligent/index.html

- Wir Sind Umgezogen, Towards a Reliable Air Traffic Control, Internet Mayo 2008, Disponible en:

ki.informatik.uni-wuerzburg.de/~kluegl/att2008/pdf/ATT_26.pdf

- Parkairsystems, PAE T6 Series, Internet Mayo 2008 , Disponible en:

www.parkairsystems.com/index.asp?id=67

- Telerad, Serie 9000, , Internet Junio 2008 , Disponible en:

telerad.fr/details-gamme-vhf-systeme-radio-vhf-multimode-2-29.php

- Harris, Ground Station (HGS), Internet Junio 2008 , Disponible en:

download.harris.com/app/public_download.asp?fid=454

- Micronav, Simulador de Radar Y ATC, Internet Junio 2008, Disponible en:

www.micronav.co.uk/

- Eurocontrol, LINK 2000+ Programme, Summary Report on VDL MODE 2 Deployment and Capacity Planning, Version 1.1, May 2005, Internet Disponible en:

www.eurocontrol.int/link2000/public/standard_page/baseline_post_pioneer.html

- Eurocontrol, Link 2000+ Programme, CD ROM
- Eurocontrol, Entrevista vía e-mail, DELHAISE Patrick, , Mayo de 2008

| | |
|------------|--|
| NÚMERO RAE | |
| PROGRAMA | Especialización en Aviónica – Facultad de Ingeniería |

| | |
|--|--|
| CONTENIDOS | |
| <p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Presentar un estudio de viabilidad técnica y económica de las tecnologías existentes de VHF Data Link para ser aplicadas en la aviación civil colombiana.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presentar un estado del arte sobre los sistemas de comunicaciones y de control de tráfico aéreo implementados inicialmente en Colombia. • Realizar un estudio de las tecnologías digitales usadas en empresas del sector Aeronáutico por medio de una encuesta técnica, para determinar la factibilidad de la implementación técnica y financiera de VHF data link. • Comparar y establecer detalladamente cada una de las tecnologías que involucran los sistemas VDL, sus características técnicas y de funcionamiento. • Establecer las ventajas de VHF data link en la aviación civil Colombiana. <p>4. DESARROLLO INGENIERIL</p> <p>4.1 SISTEMAS AERONAUTICOS DE COMUNICACIONES ACTUALES</p> <p>4.1.1 Espectro Radial Aeronáutico.</p> <p>4.1.2 VHF Com Comunicaciones de Muy Alta Frecuencia.</p> <p>4.1.3 HF Com: Comunicaciones de Alta Frecuencia.</p> <p>4.1.4 SATCOM: Comunicaciones Satelitales</p> <p>4.1.5 SELCAL: Llamada Selectiva.</p> <p>4.1.6 VHF/AMSS.</p> <p>4.2 FANS (FUTURE AIR NAVEGATION SYSTEM) – CNS/ATM</p> | |

| | |
|-------|--|
| 4.2.1 | Concepto de FANS |
| 4.2.2 | Clasificación de FANS. |
| 4.2.3 | CNS/ATM. |
| 4.2.4 | ATM (Gestión de Tráfico Aéreo). |
| 4.3 | ENLACE DE DATOS (DATA LINK) |
| 4.3.1 | Objetivos del enlace de datos |
| 4.3.2 | Beneficios de los enlaces de datos |
| 4.3.3 | Otras tecnologías futuras a nivel mundial. |
| 4.4 | ANALISIS TECNICO DE LOS SISTEMAS DE ENLACE DE DATOS PARA COMUNICACIONES AERONAUTICAS |
| 4.4.1 | Modelo OSI |
| 4.4.2 | Conceptos de CSMA, TDMA, STDMA |
| 4.4.3 | Modulación Digital. |
| 4.4.4 | ACARS. |
| 4.4.5 | VDL - Modo 2. |
| 4.4.6 | VDL- Modo 3 |
| 4.4.7 | VDL- Modo 4 |
| 4.5 | ANALISIS ECONOMICO DE LOS SISTEMAS DE ENLACE DE DATOS PARA COMUNICACIONES AERONAUTICAS |
| 4.5.1 | Estudio económico a bordo de la aeronave |
| 4.5.2 | Estudio económico para equipos en tierra |
| 5 | PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS |
| 5.1 | Datos Técnicos |
| 5.2 | Equipos A Bordo |
| 6 | CONCLUSIONES |
| 7 | RECOMENDACIONES |
| | BIBLIOGRAFIA |

| | |
|------------|--|
| NÚMERO RAE | |
| PROGRAMA | Especialización en Aviónica – Facultad de Ingeniería |

| |
|---|
| METODOLOGÍA |
| <p>1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN</p> <p>La investigación parte de una base analítica – teórica, puesto que se cuenta con una cantidad de fuentes de documentación reducidas que obligan a ser más autodidactas y aumentan el desarrollo de bases sólidas que permitan adaptar la información al propósito planteado.</p> <p>La primera fase consiste en establecer cuáles son las principales desventajas de los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia de las tecnologías actualmente implementadas en Colombia.</p> <p>La segunda fase consiste en un estudio técnico y económico para determinar los costos generados por los cambios en la infraestructura necesaria tanto en las aeronaves como las estaciones en tierra que operarán con la nueva tecnología VDL.</p> <p>2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB</p> <ul style="list-style-type: none"> • LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD: Tecnologías actuales y sociedad • SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN D ELA FACULTAD: Instrumentación y control de Procesos • NÚCLEO TEMÁTICO DEL PROGRAMA: Aviónica. <p>3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</p> <p>Se utilizaron asesorías de ingenieros electrónicos con especializaciones o experiencia en el campo de las comunicaciones y control de tráfico aéreo, así como documentación que respalda los principales conceptos necesarios para el entendimiento del sistema de transmisión de datos como documentación de la (FAA) Federal Aviation Administration, European Standards Telecommunications Institute, Anexo 10 de la OACI, entre otras.</p> <p>4. POBLACIÓN Y MUESTRA</p> <p>La población involucrada en este estudio estará compuesta por aquellas empresas de aviación civil comercial y el ente regulador en este caso la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil y su dependencia de Control de Tráfico Aéreo.</p> |

5. HIPÓTESIS

- Es necesaria la implementación de la tecnología VDL en Colombia
- El modo 4 de la tecnología VDL es la más viable y más segura para el reemplazo del sistema ACARS y para servicios ATC.

6. VARIABLES

a. Variables Independientes

Las variables independientes pueden ser las organizaciones como aerolíneas y los entes regulatorios, que puedan involucrarse en la aplicación de la tecnología VDL.

b. Variables Dependientes

Equipos necesarios para el funcionamiento de la tecnología VDL en cualquiera de sus modos, y sus correspondientes costos económicos y de seguridad.

CONCLUSIONES

1. Los sistemas actuales de comunicación, navegación y vigilancia, utilizados para el control de tráfico aéreo en Colombia se encuentran tecnológicamente atrasados en comparación a los de otros países y es necesaria la implementación de nuevas tecnologías que logren incrementar la seguridad y generen mayores beneficios económicos a las empresas operadoras.
2. La implementación de un sistema de comunicaciones por enlace digital de datos por vía VHF, incrementará la confiabilidad de la información intercambiada entre piloto y controlador, y la capacidad del centro de control para manejar mayor cantidad de aeronaves en una misma frecuencia. Además serán mejor planeadas las rutas, viéndose reducidos los costos por demoras y de combustibles, así como la ejecución rápida de los procesos de mantenimiento de las aeronaves (mayor agilidad), con la posibilidad de transmitir datos a los centros donde este se realiza.
3. Los sistemas de comunicaciones para control de tráfico aéreo y servicios operacionales dentro de las empresas no cuentan con niveles de seguridad requeridos para la implementación de sistemas FANS, lo que hace insegura la operación en los niveles mínimos exigidos por la OACI.

4. Las aerolíneas en Colombia no conocen las ventajas que los nuevos sistemas de comunicaciones pueden traer a sus empresas y es necesario que los operadores capaciten a sus ingenieros y técnicos sobre dichas ventajas y se creen los nuevos conceptos de operación y mantenimiento sobre aeronaves FANS.
5. La implementación y actualización a sistemas de enlace de datos para comunicaciones varía en cada empresa debido a la diferencia de edad y modelo de las aeronaves, cada aerolínea debe realizar un análisis a profundidad del beneficio vs. costo, ya que como se demostró anteriormente para aeronaves tipo clásicas (LAS, AIRES y Fokker 50 de AVIANCA) estas actualizaciones representarían un costo económico muy alto, siendo una mejor alternativa la renovación de estas aeronaves.
6. Aerolíneas como AVIANCA, LAS, y AIRES desean renovar algunas de sus aeronaves, es imprescindible que estas nuevas aeronaves tengan capacidad mínimo de VDL Modo 2, ya que la actualización al sistema de enlace de datos digital representaría un costo adicional sobre el costo de la aeronave.
7. VDL Modo 4 es a nivel técnico superior a sus competidores, ya que además de brindar características mejoradas de comunicación, soporta interfases de vigilancia. Pero ya que su nivel de automatización es tan alto, se recomienda la implementación de un sistema que permita una transición menos riesgosa, siendo el VDL Modo 2 el más óptimo para esto.
8. En Europa se implementó durante el año 2006, el programa Link 2000+, el cual sienta las bases y la estandarización para la implementación de un sistema de comunicaciones por enlace de datos digital que brinde mayor seguridad operacional.
9. La UAEAC debe desarrollar un plan de transición basado en el programa Link 2000+ de Eurocontrol (VDL Modo 2), para servicios de tráfico aéreo y servicios operacionales en las empresas, teniendo en cuenta todos los riesgos de seguridad que el nuevo entorno comunicativo representan en cada aérea que interviene en el proceso, así como la normatividad, los procedimientos y los equipos requeridos. Este programa debe contemplar capacitaciones de alto grado para personal de las empresas como para el personal de la autoridad.
10. Las aeronaves que AVIANCA desee colocar en operación próximamente

como el A-320, B-787, pueden ser utilizadas por la Aerocivil en las pruebas iniciales para la implementación del Link 2000+.

11. Todas las aeronaves operadas por empresas Colombianas deben realizar actualizaciones a sus sistemas de comunicaciones con capacidad VDL Modo 2, e implementar un el plan de transición desarrollado por la UAEAC para el programa Link 2000+.

12. Dentro del proceso de implementación de comunicaciones por enlace de datos la UAEAC debe contemplar costos para la renovación de los equipos de transmisión y recepción de los centros de control y tráfico aéreo, así como las nuevas interfases HMI para los controladores.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA PARA LA
IMPLEMENTACION DE LA TECNOLOGIA VHF DATA LINK "VDL" PARA
SERVICIOS DE TRAFICO AEREO DE AVIACION CIVIL EN COLOMBIA

JORGE ALBERTO LOBO PICÓN
FABIO ALEJANDRO MERCHÁN RINCÓN

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACION EN AVIONICA
BOGOTÁ, D.C.
2008

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA PARA LA
IMPLEMENTACION DE LA TECNOLOGIA VHF DATA LINK "VDL" PARA
SERVICIOS DE TRAFICO AEREO DE AVIACION CIVIL EN COLOMBIA

JORGE ALBERTO LOBO PICÓN
FABIO ALEJANDRO MERCHÁN RINCÓN

Proyecto de grado para optar al título de:
Especialista en Aviónica

Asesor
JUAN CARLOS NARVAEZ
Ing, Msc. CNS por Satélite

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACION EN AVIONICA
BOGOTÁ, D.C.
2008

Nota de Aceptación

Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, 8 de Julio de 2008

A mis padres que han sido mi más grande apoyo
durante toda mi formación académica,
mis hermanos y abuelos.

JORGE ALBERTO LOBO PICON

A Dios mi amigo incondicional, quien me ha fortalecido a través de su espíritu con constancia y sabiduría para culminar otro objetivo más en mi vida.

A mis padres y hermanos que siempre han estado acompañándome durante mi formación académica, con sus consejos y amor incondicional.

A los docentes de la especialización quienes compartieron conmigo sus conocimientos y experiencias en el área de aeronáutica, y a través de los cuales me he enriquecido profesionalmente.

FABIO ALEJANDRO MERCHÁN RINCÓN

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a:

Juan Carlos Narváez, Ing, Ing, Msc. CNS por Satélite, por su gran colaboración y valiosa orientación durante el desarrollo del proyecto.

Oswaldo Hernández, Ing, Msc., por el gran conocimiento brindado durante la realización de la especialización.

Wilson Díaz, Ingeniero Electrónico, por su colaboración en la realización de las encuestas y el conocimiento brindado durante la realización de la especialización.

Las aerolíneas AVIANCA, AEROREPUBLICA, LAS, SATENA, AIRES, y a la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| INTRODUCCION | |
| 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 29 |
| 1.1 ANTECEDENTES (ESTADO DEL ARTE)..... | 29 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 30 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 33 |
| 1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 34 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos | 34 |
| 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO | 35 |
| 2 MARCO DE REFERENCIA | 36 |
| 2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL | 36 |
| 2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO | 37 |
| 3 METODOLOGÍA..... | 38 |
| 3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN | 38 |
| 3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB..... | 38 |
| 3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN..... | 39 |
| 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA | 39 |
| 3.5 HIPÓTESIS | 39 |
| 3.6 VARIABLES | 40 |
| 4. DESARROLLO INGENIERIL..... | 41 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | SISTEMAS AERONAUTICOS DE COMUNICACIONES ACTUALES | 41 |
| 4.1.1 | Espectro Radial Aeronáutico..... | 41 |
| 4.1.2 | VHF Com Comunicaciones de Muy Alta Frecuencia..... | 42 |
| 4.1.3 | HF Com: Comunicaciones de Alta Frecuencia..... | 46 |
| 4.1.4 | SATCOM: Comunicaciones Satelitales | 47 |
| 4.1.5 | SELCAL: Llamada Selectiva..... | 50 |
| 4.1.6 | VHF/AMSS..... | 52 |
| 4.2 | FANS (FUTURE AIR NAVIGATION SYSTEM) – CNS/ATM..... | 53 |
| 4.2.1 | Concepto de FANS..... | 53 |
| 4.2.2 | Clasificación de FANS..... | 55 |
| 4.2.3 | CNS/ATM..... | 57 |
| 4.2.4 | ATM (Gestión de Tráfico Aéreo)..... | 67 |
| 4.3 | ENLACE DE DATOS (DATA LINK)..... | 69 |
| 4.3.1 | Objetivos del enlace de datos..... | 69 |
| 4.3.2 | Beneficios de los enlaces de datos | 70 |
| 4.3.3 | Otras tecnologías futuras a nivel mundial..... | 71 |
| 4.4 | ANALISIS TECNICO DE LOS SISTEMAS DE ENLACE DE DATOS PARA COMUNICACIONES AERONAUTICAS | 74 |
| 4.4.1 | Modelo OSI..... | 74 |
| 4.4.2 | Conceptos de CSMA, TDMA, STDMA..... | 79 |
| 4.4.3 | Modulación Digital..... | 83 |
| 4.4.4 | ACARS..... | 89 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.4.5 | VDL - Modo 2 | 100 |
| 4.4.6 | VDL- Modo 3 | 111 |
| 4.4.7 | VDL- Modo 4 | 116 |
| 4.5 | ANALISIS ECONOMICO DE LOS SISTEMAS DE ENLACE DE DATOS PARA COMUNICACIONES AERONAUTICAS..... | 122 |
| 4.5.1 | Estudio económico a bordo de la aeronave..... | 123 |
| 4.5.2 | Estudio económico para equipos en tierra..... | 147 |
| 5 | PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS..... | 158 |
| 5.1 | Datos Técnicos | 158 |
| 5.2 | Equipos A Bordo | 163 |
| 6 | CONCLUSIONES..... | 165 |
| 7 | RECOMENDACIONES..... | 169 |
| | BIBLIOGRAFIA..... | 172 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1 Operaciones Aéreas Por Aeropuerto en Colombia | 32 |
| Tabla 2 Uso de Banda Radial Aeronáutica | 42 |
| Tabla 3 Aceptabilidad de Radios y Número de Canales..... | 44 |
| Tabla 4 Tono de Selcal y su respectiva frecuencia..... | 51 |
| Tabla 5 Modelo OSI | 75 |
| Tabla 6 Comparación Modelo OSI con VDL Modo 2,3, y 4 | 78 |
| Tabla 7 Diferencia de Fase en D8PSK | 87 |
| Tabla 8 Estructura del ACARS..... | 91 |
| Tabla 9 Eventos OOOI's..... | 92 |
| Tabla 10 Duración de Frame vs. VER | 106 |
| Tabla 11 Componentes del Tiempo de Retraso VDLM2..... | 109 |
| Tabla 12 Análisis técnico VDL Modo 2 | 110 |
| Tabla 13 Componentes del Tiempo de Retraso Para Voz VDLM3..... | 114 |
| Tabla 14 Componentes del Tiempo de Retraso Para Datos VDLM3..... | 114 |
| Tabla 15 Características Técnicas VDL Modo 3..... | 115 |
| Tabla 16 Características Técnicas VDL Modo 4..... | 121 |
| Tabla 17 Formato de Encuesta..... | 123 |
| Tabla 18 Resultados de la Encuesta | 125 |
| Tabla 19 Tipos de Aeronaves en las Principales Aerolíneas Colombianas | 132 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 20 Aeronaves Clásicas | 133 |
| Tabla 21 Actualización de Equipos Aeronaves Clásicas a VDL..... | 135 |
| Tabla 22 Aeronaves FMS/EFIS Análogas | 136 |
| Tabla 23 Aeronaves FMS/EFIS Digitales..... | 137 |
| Tabla 24 Actualización de Equipos Aeronaves FMS/EFIS Análogas a VDL..... | 138 |
| Tabla 25 Actualización de Equipos Aeronaves FMS/EFIS Digitales a VDL..... | 139 |
| Tabla 26 Aeronaves Nueva Generación | 140 |
| Tabla 27 Costos de Equipos Para Cada Modo VDL..... | 142 |
| Tabla 28 Costos de Kits de Instalación..... | 143 |
| Tabla 29 Costos de Instalación..... | 144 |
| Tabla 30 Costos de Equipos VDL para cada Aeronave..... | 144 |
| Tabla 31 Costos Simuladores para ATC..... | 157 |
| Tabla 32 Cuadro Comparativo de Modos VDL | 160 |
| Tabla 33 Servicio de Comunicaciones y Vigilancia de Modos VDL | 161 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1 Pasajeros Movilizados Por Vía Aérea en Colombia..... | 31 |
| Figura 2 Configuración Típica del Conjunto VHF-Com..... | 45 |
| Figura 3 Configuración del Tercer Radio VHF-Com | 46 |
| Figura 4 Configuración de HF-Com para aeronaves categoría transporte | 47 |
| Figura 5 Funcionamiento de SATCOM..... | 49 |
| Figura 6 Aviónica a bordo la aeronave para Satcom | 50 |
| Figura 7 Configuración del SELCAL a bordo de la aeronave | 52 |
| Figura 8 Concepto FANS..... | 54 |
| Figura 9 Tendencia CNS/ATM..... | 58 |
| Figura 10 Tendencia de las Comunicaciones en CNS/ATM..... | 60 |
| Figura 11 Tendencia de la Navegación en CNS/ATM | 62 |
| Figura 12 Concepto de RVSM | 64 |
| Figura 13 Tendencia de la Vigilancia en CNS/ATM..... | 66 |
| Figura 14 Concepto Operacional de un ATM Mundial | 68 |
| Figura 15 Componentes del concepto operacional ATM Mundial..... | 69 |
| Figura 16 Comparación de Protocolos con modelos OSI | 77 |
| Figura 17 Esquema TDMA | 81 |
| Figura 18 Configuración Slot TDMA | 82 |
| Figura 19 Modulación Análoga y Digital..... | 84 |

| | |
|---|-----|
| Figura 20 Modulación FSK | 85 |
| Figura 21 Modulación PSK | 86 |
| Figura 22 Modulación DPSK..... | 87 |
| Figura 23 Modulación GFSK..... | 89 |
| Figura 24 Red ACARS..... | 93 |
| Figura 25 Orientación de caracteres del Frame..... | 94 |
| Figura 26 Reporte Típico de Clima METAR..... | 96 |
| Figura 27 Interconexión de ACARS Abordo | 96 |
| Figura 28 Mensaje en cada fase de vuelo | 97 |
| Figura 29 VDLM2-ACARS | 105 |
| Figura 30 Bit Error Rate VDLM2 | 106 |
| Figura 31 Ds Turnaround Time | 109 |
| Figura 32 Configuración de Voz y Datos VDLM3..... | 113 |
| Figura 33 Configuración VDLM4..... | 118 |
| Figura 34 Comunicaciones en VDL Modo 4 | 119 |
| Figura 35 Time slots en VDL Modo 4..... | 119 |
| Figura 36 Relación Costo-Beneficio con VDL..... | 130 |
| Figura 37 Costos de Operación y Mantenimiento en Aerolíneas Colombianas ... | 145 |
| Figura 38 Arquitectura Básica Para un ATC Futuro..... | 149 |
| Figura 39 Radio Transmisor, Receptor PAE T6 Servicio de ATC..... | 150 |
| Figura 40 Radio Transmisor, Receptor Telerad 9000, Servicio de ATC | 151 |
| Figura 41 HGS y Laptop para mantenimiento..... | 152 |

| | |
|--|-----|
| Figura 42 Simulador de Radar | 154 |
| Figura 43 Diferencia entre simulador de torre 2D y 3D | 156 |
| Figura 44 Implementación Tecnología VDL en Colombia | 162 |
| Figura 45 Plan de Transición de Frecuencias VDL Modo 2 y 4 | 163 |
| Figura 46 Arquitectura AIRBUS vs. BOEING | 164 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|------------------------|------|
| ANEXO A TSO-C160..... | 178 |
| ANEXO B TSO-C163..... | 179 |
| ANEXO C ENCUESTAS..... | 180 |

INTRODUCCION

Desde hace algunos años el campo aeronáutico mundial se encuentra cada vez más congestionado, lo cual se ve reflejado en la reducida separación espacial entre aeronaves, provocando así, demoras en vuelos e inseguridad, y creando además un problema de grandes proporciones. Hoy en día son muchas las personas que usan este medio de transporte, por lo cual se requiere tener un control continuo sobre las aeronaves. Las características que tienen a la aviación comercial como uno de los medios de transporte preferidos pueden resumirse en dos: movilidad y seguridad. Dichas características están siendo afectadas por el incremento en la cantidad de aeronaves en vuelo y el saturamiento de la banda de radio frecuencias para comunicaciones aeronáuticas.

Debido a la congestión de los grandes y pequeños aeropuertos se han desarrollado nuevas tecnologías para comunicación y navegación aeronáutica, las cuales logran reducir la carga de trabajo para pilotos y controladores aéreos,. Esto se traduce en un mayor índice de seguridad y eficiencia para el área del transporte aéreo.

Las tres tecnologías con mayor desarrollo son VDL Modo 2,3 y 4. Los modos dos y tres considerados como soluciones de comunicación y el modo cuatro ofrece

además capacidad de vigilancia. Aunque dichas tecnologías se encuentran todavía en prueba y los conllevan un largo proceso de estandarización y certificación, es importante que en Colombia se inicie un proceso de investigación y de selección para poder establecer cuál ó cuáles de esas tecnologías se adaptan mejor a la aviación civil colombiana.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES (ESTADO DEL ARTE)

Durante muchos años las comunicaciones aire tierra se realizaron usando comunicación por voz con radios HF y VHF convencionales, los cuales fueron potenciados con el sistema SATCOM en los principios de los años 90. Durante finales de los 80 se comenzó a implementar un nuevo sistema donde podían enviarse datos de aire a tierra y vice-versa. El sistema llamado ACARS, fue diseñado inicialmente para detectar y reportar automáticamente cambios en las diferentes etapas del vuelo. Luego de esto fue introducida la interfase entre el sistema ACARS, FMS, y FAMS/ ACMS lo que permitió mejoras en los planes de vuelo y de mantenimiento. SELCAL es otro sistema que permite tener una comunicación entre la empresa y una aeronave específica, y es usada para mensajes internos. El propósito del sistema es evitar estar escuchando el ruido de de la banda HF entre tiempos de comunicaciones Piloto/ATC.

Actualmente existe tecnología de punta (VDL- Modo 4) que pretende reemplazar dichos sistemas, con un nuevo sistema digital. Estos modos de transmisión de datos pretenden establecerse sobre los viejos y atrasados sistemas análogos, desplazándolos y dejándolos obsoletos.

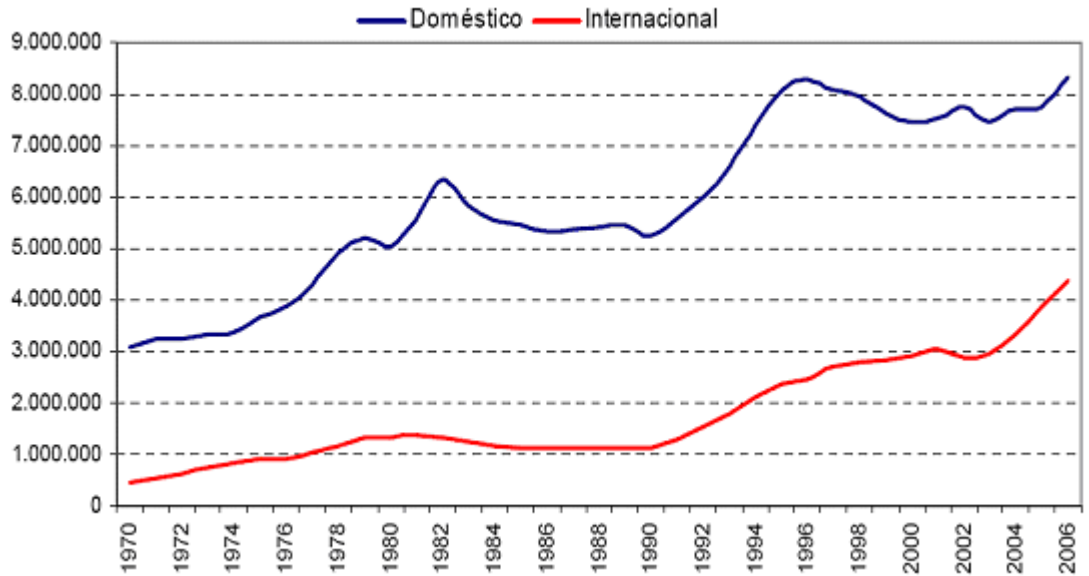
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la banda de radio frecuencia dedicada a las comunicaciones aeronáuticas comprendida entre los 118 a 137 MHz de Amplitud Modulada (AM), está siendo saturada por la gran demanda de tráfico aéreo en el mundo, y aunque hoy, los cielos Colombianos no tienen los niveles de congestión que se presentan en algunos países desarrollados, como Estados Unidos, Alemania, Francia, España, entre otros, las estadísticas y tendencias de la Aerocivil a continuación mostradas, nos indican que en un futuro muy próximo podría convertirse en un problema grave de seguridad.

En la figura 1 se pueden observar el número de pasajeros tanto de vuelos internacionales como nacionales comprendidos entre 1970 a 2006; el número de personas a crecido gradualmente tanto así que en 1970 se presentaba 3'000.000 de pasajeros nacionales y en 2006 encontramos aproximadamente 8'000.000 de pasajeros. Teniendo en cuenta estas estadísticas se puede deducir que el espacio aéreo se ha venido congestionando, lo que conlleva a tener más aeronaves en vuelo, y que las distancias de separación se hayan reducido para permitir más aeronaves en el aire.

Por otro lado, es importante observar la operaciones aéreas por aeropuerto con lo cual queda reflejado que cada día más personas en diferentes partes del país usan el transporte aéreo como una alternativa por su rapidez y seguridad.

Figura 1 Pasajeros Movilizados Por Vía Aérea en Colombia



Fuente: Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, www.aerocivil.gov.co, disponible Mayo 28 de 2008

En la tabla 1 se puede observar la estadística de las operaciones aéreas por aeropuerto a lo largo del territorio colombiano, y es de notar que en ciudades como: Bogotá, Barranquilla, Cartagena, Cali, Medellín, Rionegro-Antioquia; se presenta mayor evidencia de número de aterrizajes y despegues tanto internacionales como nacionales y en los últimos tres años el número de ciclos ha aumentado considerablemente.

Tabla 1 Operaciones Aéreas Por Aeropuerto en Colombia

| SIGLA | AEROPUERTO | 2.006 | | | | 2.008 | | | | 2.007 | | | |
|-------|------------------------|---------------|----------|------------|----------|---------------|----------|------------|----------|---------------|----------|------------|----------|
| | | INTERNACIONAL | | DOMESTICA | | INTERNACIONAL | | DOMESTICA | | INTERNACIONAL | | DOMESTICA | |
| | NOMBRE | Aterrizaje | Despegue | Aterrizaje | Despegue | Aterrizaje | Despegue | Aterrizaje | Despegue | Aterrizaje | Despegue | Aterrizaje | Despegue |
| SKAM | | 3 | 3 | 111 | 111 | 4 | 0 | 133 | 138 | 0 | 0 | 104 | 104 |
| SKAR | ARMENIA | 72 | 62 | 5.562 | 5.568 | 71 | 67 | 5.017 | 5.017 | 159 | 175 | 6.750 | 6.732 |
| SKAS | PUERTO ASIS | 133 | 131 | 3.903 | 3.900 | 222 | 205 | 4.272 | 4.286 | 96 | 102 | 4.601 | 4.596 |
| SKBG | LEBRUJA | 1.530 | 1.571 | 11.474 | 11.431 | 1.115 | 1.162 | 12.001 | 11.996 | 1.027 | 1.033 | 11.388 | 11.375 |
| SKBO | BOGOTA | 22.747 | 22.455 | 75.881 | 76.134 | 25.549 | 25.062 | 82.785 | 83.196 | 26.712 | 26.533 | 89.235 | 89.467 |
| SKBQ | BARRANQUILLA | 2.196 | 2.502 | 9.903 | 9.578 | 1.938 | 1.915 | 10.214 | 10.246 | 2.048 | 2.266 | 12.314 | 12.075 |
| SKBS | BAHIA SOLANO | 56 | 39 | 2.113 | 2.130 | 100 | 90 | 1.796 | 1.810 | 107 | 99 | 1.893 | 1.900 |
| SKBU | BUENAVENTURA | 368 | 404 | 740 | 701 | 360 | 423 | 1.293 | 1.236 | 380 | 446 | 1.157 | 1.051 |
| SKCB | CARMEN DE BOLIVAR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SKCC | CU CUTA | 114 | 132 | 7.377 | 7.357 | 201 | 246 | 7.643 | 7.575 | 441 | 530 | 7.256 | 7.139 |
| SKCD | CONDOTO | 2 | 4 | 777 | 777 | 6 | 3 | 851 | 855 | 1 | 4 | 594 | 591 |
| SKCG | CARTAGENA | 2.391 | 2.236 | 9.776 | 9.912 | 2.570 | 2.698 | 11.649 | 11.517 | 2.892 | 2.612 | 12.861 | 13.127 |
| SKCL | CALI | 2.925 | 2.641 | 23.859 | 24.167 | 3.220 | 2.859 | 24.273 | 24.630 | 3.615 | 3.292 | 23.893 | 24.213 |
| SKCM | CIMITARRA | 1 | 0 | 56 | 57 | 0 | 1 | 57 | 56 | 1 | 2 | 71 | 70 |
| SKCO | TUMACO | 52 | 58 | 4.639 | 4.638 | 117 | 118 | 6.491 | 6.490 | 133 | 154 | 5.846 | 5.725 |
| SKCZ | COROZAL | 187 | 199 | 2.156 | 2.135 | 62 | 58 | 2.396 | 2.406 | 24 | 22 | 2.107 | 2.109 |
| SKDJ | BARRANCABERMEJA | 321 | 255 | 5.149 | 5.204 | 364 | 324 | 3.797 | 3.833 | 289 | 264 | 3.652 | 3.684 |
| SKFL | FLORENCIA | 537 | 584 | 2.919 | 2.871 | 170 | 198 | 3.152 | 3.122 | 193 | 204 | 2.789 | 2.772 |
| SKGI | FLANDES | 14 | 13 | 9.542 | 9.538 | 11 | 6 | 8.353 | 8.352 | 17 | 5 | 10.240 | 10.242 |
| SKGO | CARTAGO | 62 | 60 | 1.063 | 1.063 | 130 | 132 | 3.273 | 3.260 | 168 | 170 | 1.956 | 1.945 |
| SKGP | GUAPI | 48 | 45 | 642 | 643 | 32 | 34 | 910 | 903 | 96 | 94 | 789 | 785 |
| SKGY | BOGOTA | 317 | 312 | 24.673 | 24.651 | 328 | 375 | 34.902 | 34.828 | 332 | 353 | 40.805 | 40.738 |
| SKGZ | GARZON | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 14 | 14 | 0 | 0 | 11 | 11 |
| SKHA | CHAPARRAL | 22 | 22 | 77 | 81 | 1 | 0 | 214 | 216 | 3 | 0 | 125 | 128 |
| SKIB | IBAGUE | 434 | 432 | 6.350 | 6.344 | 501 | 505 | 6.718 | 6.705 | 484 | 490 | 8.976 | 8.959 |
| SKIP | IRIALES | 7 | 12 | 726 | 721 | 14 | 12 | 665 | 663 | 4 | 6 | 685 | 681 |
| SKLO | CAREPA | 108 | 106 | 4.522 | 4.523 | 109 | 87 | 3.768 | 3.784 | 159 | 148 | 3.896 | 3.896 |
| SKLT | LETICIA | 363 | 345 | 1.229 | 1.241 | 433 | 407 | 1.029 | 1.052 | 376 | 356 | 1.038 | 1.090 |
| SKMD | MEDELLIN | 3.611 | 3.577 | 32.799 | 32.823 | 2.786 | 2.577 | 35.922 | 36.087 | 2.277 | 2.174 | 36.448 | 36.586 |
| SKMG | MAGANGUE | 0 | 1 | 109 | 107 | 0 | 0 | 77 | 78 | 0 | 0 | 17 | 17 |
| SKMP | MOMPOS | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SKMR | MONTERIA | 179 | 180 | 5.408 | 5.409 | 188 | 170 | 6.353 | 6.374 | 136 | 127 | 7.598 | 7.605 |
| SKMU | MITU | 1.818 | 1.825 | 1.367 | 1.352 | 2.116 | 2.131 | 1.420 | 1.401 | 2.643 | 2.667 | 1.472 | 1.446 |
| SKMZ | MANIZALES | 12 | 12 | 3.849 | 3.851 | 7 | 6 | 4.370 | 4.366 | 4 | 5 | 4.555 | 4.553 |
| SKNQ | NUQUI | 6 | 1 | 1.215 | 1.221 | 2 | 2 | 1.047 | 1.045 | 1 | 5 | 1.198 | 1.194 |
| SKNV | NEIVA | 657 | 642 | 9.105 | 9.035 | 413 | 452 | 8.651 | 8.523 | 318 | 305 | 8.976 | 8.948 |
| SKOD | OCANA | 11 | 10 | 366 | 368 | 2 | 0 | 393 | 392 | 6 | 13 | 237 | 228 |
| SKOT | REMEDIOS | 1 | 6 | 1.243 | 1.238 | 2 | 2 | 1.415 | 1.417 | 0 | 0 | 1.440 | 1.440 |
| SKPA | PAIPA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 |
| SKPO | PUERTO CARRENO | 102 | 102 | 753 | 735 | 149 | 165 | 635 | 617 | 150 | 149 | 529 | 522 |
| SKPE | PEREIRA | 56 | 55 | 10.640 | 10.638 | 144 | 141 | 10.729 | 10.725 | 257 | 259 | 11.140 | 11.128 |
| SKPI | PITALITO | 0 | 1 | 158 | 157 | 0 | 0 | 93 | 92 | 11 | 7 | 82 | 85 |
| SKPP | POPAYAN | 0 | 0 | 3.407 | 3.414 | 8 | 12 | 3.065 | 3.068 | 3 | 4 | 3.613 | 3.619 |
| SKPR | PUERTO BERRIO | 9 | 9 | 616 | 616 | 4 | 1 | 521 | 523 | 0 | 4 | 618 | 614 |
| SKPS | PASTO | 654 | 615 | 2.749 | 2.785 | 499 | 431 | 2.493 | 2.551 | 791 | 643 | 2.466 | 2.605 |
| SKPV | PROVIDENCIA | 0 | 0 | 1.195 | 1.194 | 0 | 1 | 1.466 | 1.464 | 5 | 4 | 2.149 | 2.151 |
| SKPZ | PAZ DE ARIPOZO | 15 | 12 | 88 | 91 | 12 | 13 | 83 | 82 | 23 | 18 | 65 | 71 |
| SKQU | MARIQUITA | 10 | 16 | 10.027 | 10.041 | 8 | 11 | 11.434 | 11.422 | 49 | 27 | 15.621 | 15.630 |
| SKRQ | RIONEGRO - ANTIOQUIA | 3.593 | 3.884 | 18.940 | 18.685 | 4.142 | 4.431 | 19.022 | 18.804 | 3.800 | 4.207 | 19.073 | 18.787 |
| SKRH | RIOHACHA | 2 | 3 | 642 | 640 | 6 | 9 | 745 | 744 | 1 | 2 | 544 | 542 |
| SKSA | SARAVENA | 54 | 38 | 3.393 | 3.406 | 105 | 110 | 3.161 | 3.194 | 231 | 218 | 2.463 | 2.496 |
| SKSJ | SAN JOSE DEL GUAVIARE | 1.254 | 1.151 | 5.934 | 6.025 | 1.387 | 1.134 | 7.911 | 8.122 | 1.283 | 951 | 6.896 | 7.144 |
| SKSM | SANTA MARTA | 31 | 39 | 6.936 | 6.927 | 28 | 28 | 7.841 | 7.842 | 39 | 29 | 7.308 | 7.319 |
| SKSP | SAN ANDRES - ISLA | 798 | 802 | 4.451 | 4.449 | 725 | 701 | 5.270 | 5.294 | 691 | 697 | 6.728 | 6.719 |
| SKSV | SAN VICENTE DEL CAGUAN | 311 | 246 | 1.309 | 1.373 | 452 | 438 | 1.932 | 1.968 | 274 | 267 | 1.612 | 1.603 |
| SKTD | TRINIDAD | 11 | 14 | 82 | 79 | 14 | 13 | 47 | 48 | 10 | 8 | 31 | 33 |
| SKTL | TOLU | 14 | 12 | 142 | 144 | 16 | 13 | 216 | 220 | 1 | 1 | 104 | 104 |
| SKTM | TAMIE | 36 | 44 | 1.381 | 1.376 | 46 | 38 | 1.179 | 1.189 | 55 | 50 | 1.409 | 1.414 |
| SKTU | TURBO | 19 | 15 | 783 | 785 | 8 | 6 | 689 | 689 | 1 | 1 | 692 | 691 |
| SKUC | ARAUCA - M UNICIPIO | 431 | 435 | 4.243 | 4.233 | 521 | 539 | 3.917 | 3.893 | 277 | 293 | 4.253 | 4.218 |
| SKUI | QUIBOO | 567 | 560 | 7.141 | 7.161 | 305 | 293 | 6.720 | 6.750 | 260 | 270 | 6.750 | 6.739 |
| SKUL | TULUA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SKUR | URRAO | 0 | 4 | 192 | 187 | 0 | 0 | 233 | 234 | 1 | 1 | 235 | 231 |

Fuente: Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, www.aerocivil.gov.co, disponible Mayo 28 de 2008

¿Es la tecnología VDL en cualquiera de sus modos una herramienta factible para los problemas de tráfico aéreo y si es así cuál de sus modos es el más óptimo para ser instalado en aeronaves y estaciones en tierra en Colombia?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de comunicación y navegación usados en la mayoría de aeronaves colombianas datan de los años 70, son ya tecnologías obsoletas, lo que hace comprometer la seguridad de la industria aeronáutica. Una forma de suplir estas viejas tecnologías es implementando un sistema digital de enlace de datos que permita incrementar la confiabilidad en las comunicaciones. Este sistema es el VDL, el cual está siendo desarrollado actualmente por países como EE.UU. y Europa en sus modos VDL 3 y 4 respectivamente, y que presentan mayores adelantos en los servicios que prestan al sector de comunicaciones aeronáuticas. El VDL ofrece una serie de ventajas como: mejora del conocimiento de la situación del vuelo y de la información de vigilancia, disminución drástica de los errores de comprensión, reducción de los márgenes de separación, reducción de la carga de trabajo de los controladores, descongestión de las frecuencias de voz, entre otras. Teniendo en cuenta esta serie de beneficios, existe una necesidad de realizar un estudio de viabilidad para la implementación de esta tecnología en la aviación civil colombiana, ya que los principales problemas presentados en la actualidad están

relacionados con las ventajas atrás mencionadas, logrando así un mejor y más eficiente control de tráfico aéreo.

Es necesario realizar una exhaustiva investigación sobre las tecnologías de transmisión de datos VDL 2,3 y 4, y sobre sus compatibilidades con tecnologías funcionales en la actualidad y futuras para poder establecer si las empresas y entes reguladores están en la capacidad de acoger dichas tecnologías y si realmente es la solución para un problema de seguridad inminente.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General: Presentar un estudio de viabilidad técnica y económica de las tecnologías existentes de VHF Data Link para ser aplicadas en la aviación civil colombiana.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Presentar un estado del arte sobre los sistemas de comunicaciones y de control de tráfico aéreo implementados inicialmente en Colombia.
- Realizar un estudio de las tecnologías digitales usadas en empresas del sector Aeronáutico por medio de una encuesta técnica, para determinar la factibilidad de la implementación técnica y financiera de VHF data link.

- Comparar y establecer detalladamente cada una de las tecnologías que involucran los sistemas VDL, sus características técnicas y de funcionamiento.
- Establecer las ventajas de VHF data link en la aviación civil Colombiana.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

Este proyecto es un estudio sobre la viabilidad técnica y económica para la implementación de la tecnología VDL que presente la mejor aplicabilidad en el entorno colombiano, así mismo cuál de sus modos trae mayores ventajas para la aviación civil colombiana. Además, se realizó un estudio en algunas aerolíneas para determinar la factibilidad de la implementación en el escenario técnico y financiero.

Cabe anotar que en el proceso de investigación de este proyecto no se contempla ninguna etapa de implementación del sistema seleccionado ya que solo se intenta dar una respuesta teórica al problema planteado en el numeral 1.2.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

VDL (*VHF Digital Link*) Modo 1 se empleó para la introducción inicial del servicio de voz digital empleando radios analógicas. Sin embargo, nunca será implantado operacionalmente e incluso se ha retirado de los estándares.

VDL Modo 2 está diseñado para soportar tanto comunicaciones AOC como ATS. En un principio se diseñó como una sustitución de ACARS, proporcionando mayor fiabilidad y capacidad. El servicio que ofrece es A/T punto a punto, si bien se prevé incorporar capacidades de difusión.

VDL Modo 3 fue diseñado por la FAA (*Federal Aviation Administration*) de EE.UU. para soportar de forma integrada comunicaciones A/T de voz digitalizada y datos en un solo terminal de usuario. Existen dos tipos de servicios: punto a punto y punto a multipunto (difusión de una estación de tierra a todas las aeronaves).

VDL Modo 4 ha sido diseñado por las autoridades de aviación civil de Suecia como un sistema de comunicaciones que puede proporcionar servicios de

comunicaciones, navegación y vigilancia. Este sistema permite comunicaciones A/T punto a punto y punto a multipunto, y A/A punto a punto.¹

2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO

Se realizó una investigación sobre la normatividad que pueda introducirse para la posible instalación de equipos de radio en aire y en tierra requeridos por la tecnología VDL seleccionada, y que la Unidad Especial Administrativa de Aeronáutica Civil pueda integrar en las normas que actualmente están siendo desarrolladas por entes internacionales como la OACI, o entes reguladores en otras regiones del mundo como FAA y EASA.

¹comunicaciones aeronáuticas digitales, www.coit.es/publicaciones/bit/bit149/74-77.pdf, Disponible Abril de 2008

3 METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación parte de una base analítica – teórica, puesto que se cuenta con una cantidad de fuentes de documentación reducidas que obligan a ser más autodidactas y aumentan el desarrollo de bases sólidas que permitan adaptar la información al propósito planteado.

La primera fase consiste en establecer cuáles son las principales desventajas de los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia de las tecnologías actualmente implementadas en Colombia.

La segunda fase consiste en un estudio técnico y económico para determinar los costos generados por los cambios en la infraestructura necesaria tanto en las aeronaves como las estaciones en tierra que operarán con la nueva tecnología VDL.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB

- LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD: Tecnologías actuales y sociedad
- SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN D ELA FACULTAD: Instrumentación y control de Procesos
- NÚCLEO TEMÁTICO DEL PROGRAMA: Aviónica.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se utilizaron asesorías de ingenieros electrónicos con especializaciones o experiencia en el campo de las comunicaciones y control de tráfico aéreo, así como documentación que respalda los principales conceptos necesarios para el entendimiento del sistema de transmisión de datos como documentación de la (FAA) Federal Aviation Administration, European Standards Telecommunications Institute, Anexo 10 de la OACI, entre otras.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población involucrada en este estudio estará compuesta por aquellas empresas de aviación civil comercial y el ente regulador en este caso la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil y su dependencia de Control de Tráfico Aéreo.

3.5 HIPÓTESIS

Es necesaria la implementación de la tecnología VDL en Colombia. El modo 4 de la tecnología VDL es la más viable y más segura para el reemplazo del sistema ACARS y para servicios ATC.

3.6 VARIABLES

3.6.1 Variables Independientes: Las variables independientes pueden ser las organizaciones como aerolíneas y los entes reguladores, que puedan involucrarse en la aplicación de la tecnología VDL.

3.6.2 Variables Dependientes: Equipos necesarios para el funcionamiento de la tecnología VDL en cualquiera de sus modos, y sus correspondientes costos económicos y de seguridad.

4. DESARROLLO INGENIERIL

4.1 SISTEMAS AERONAUTICOS DE COMUNICACIONES ACTUALES

4.1.1 Espectro Radial Aeronáutico: Para poder realizar una buena elección del sistema de transferencia de datos digital a implementarse en Colombia y poder construir un plan de transición que no cause inconvenientes y minimice riesgos de seguridad en la operación aeronáutica, es necesario conocer primero los sistemas a bordo y en tierra, de comunicación, navegación y vigilancia con los que se realiza el proceso de operación de las aeronaves actualmente.

Dentro de la gran banda de radio frecuencias aeronáuticas, las comunicaciones, navegación y vigilancia se llevan a cabo en la banda de HF y VHF y UHF principalmente. Algunos sistemas como el Omega y Loran que trabajaban en muy baja frecuencia ya no son utilizados en la operación de aeronaves. Estos sistemas difundían un pulso de radio desde una localización maestra conocida, seguido por pulsos repetidos desde un número de estaciones "esclavas". El retraso entre la recepción y el envío de la señal en las estaciones auxiliares era controlado, permitiendo a los receptores comparar el retraso entre la recepción y el retraso. Algo parecido ocurrirá con el ADF (NDB en tierra), el cual deberá salir de servicio para operación de aeronaves en el año 2015 según OACI. En la Tabla 2 puede

apreciarse la distribución de los sistemas aeronáuticos en cada banda de radiofrecuencias.

Tabla 2 Uso de Banda Radial Aeronáutica

| Banda | | Frecuencia | Servicios |
|--------------------------|-----|--------------|---|
| Very Low Frequency | VHF | 3-30 kHz | Omega |
| Low Frequency | LF | 30-300 kHz | ADF LORAN |
| Medium Frequency | MF | 300-3000 kHz | ADF |
| High Frequency | HF | 3-30 MHz | Comunicaciones HF |
| Very High Frequency | VHF | 30-300 MHz | Comunicaciones VHF VOR Marcadores ILS ELT |
| Ultra High Frequency | UHF | 300-3000 MHz | DME TACAN Glideslope ILS GPS GLONASS GALILEO TRANSPONDER TCAS ELT |
| Super High Frequency | SHF | 3-30 GHz | RADAR PRIMARIO RADAR CLIMATICO RADIO ALTIMETRO |
| Extremely High Frequency | EHF | 30-300 GHz | RADAR MILIMETRICO |

4.1.2 VHF Com Comunicaciones de Muy Alta Frecuencia: Los radios utilizados para comunicación pueden ser llamados “Com, Comm, VHF-Com” o simplemente “VHF”. Estos reciben y transmiten en la banda VHF de 118.00 a 136.975 MHz. Cuando un radio es “NavCom” las comunicaciones y navegación

están combinadas en una misma carcasa. Ya que el “Com” recibe y transmite al mismo tiempo este recibe el nombre de transceiver.

La banda VHF se encuentra bajo gran presión debido a la gran cantidad de aeronaves, la cual ha tenido un enorme crecimiento estos últimos años. Las frecuencias son asignadas por acuerdos internacionales (OACI), y son de difícil obtención ya que servicios no pertenecientes a la aviación (Policía, Ejército, Bomberos, Taxis, Emergencias y Entidades del Gobierno), compiten por el limitado espacio en el espectro radial. Como resultado de esto se ve la necesidad de crear diferentes sistemas con nuevas tecnologías que permitan solucionar estos problemas.²

Actualmente los radios trans-receptores de las aeronaves realizan el intercambio de voz a través del uso de la amplitud modulada double sideband (DSB-AM), la cual es una modulación lineal que consiste en multiplicar temporalmente la señal moduladora por la señal portadora. La modulación en doble banda lateral equivale a una modulación AM con portadora suprimida.

Hay 760 canales de 25 kHz de espaciamiento como se puede observar en la Tabla 3. Dos tercios de estos, es decir 506 canales están asignados para comunicaciones de control de tráfico aéreo, y los restantes están reservados para comunicaciones operacionales de las aerolíneas.

² Len Buckwalter, Avionics Training , Systems Installations and Troubleshooting , Second Edition

Tabla 3 Aceptabilidad de Radios y Número de Canales

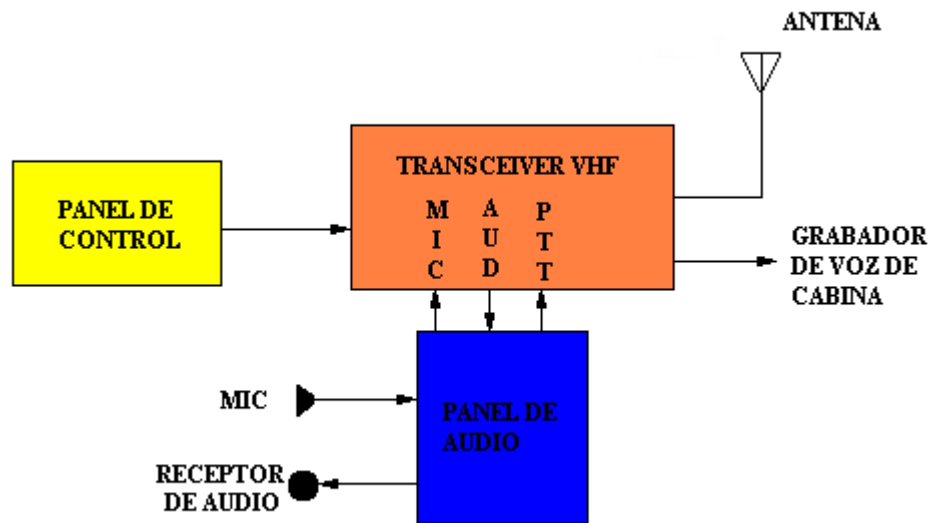
| Número de Canales | Espaciamiento | Aceptado | Notas |
|-------------------|---------------|----------|---|
| 90 | 100 kHz | No | Prohibido en 1977 |
| 180 | 50 kHz | No | La banda fue extendida de 126.90 a 135.9 MHz |
| 360 | 50 kHz | No | Resultado del "channel splitting" |
| 760 | 25 kHz | Si | Los radios de mayor tecnología logran separar canales más cerrados |
| 2280 | 8.33 kHz | Si | Tecnología avanzada de "channel splitting" logra triplicar la cantidad de canales |

Fuente: Len Buckwalter, Avionics Training

La nueva tecnología permite una reducción del espaciamiento en los radios de 8.33 kHz. Este espaciamiento de canales se ha sido introducido para aliviar la congestión de las comunicaciones VHF. El funcionamiento de 8,33 kHz ha sido efectivo por encima de FL245 desde 1999 y es obligatoria por encima de FL195 en Europa a partir del 15 de marzo de 2007.

- VHF-Com Abordo: En la Figura 2 se puede apreciar la configuración típica del sistema VHF Com para una aeronave categoría transporte, en la que la tripulación opera por medio del panel de control, y la unidad principal de transceiver se encuentra en la bahía electrónica de la aeronave. Dos frecuencias pueden ser seleccionadas pero solo una se encuentra activa.

Figura 2 Configuración Típica del Conjunto VHF-Com

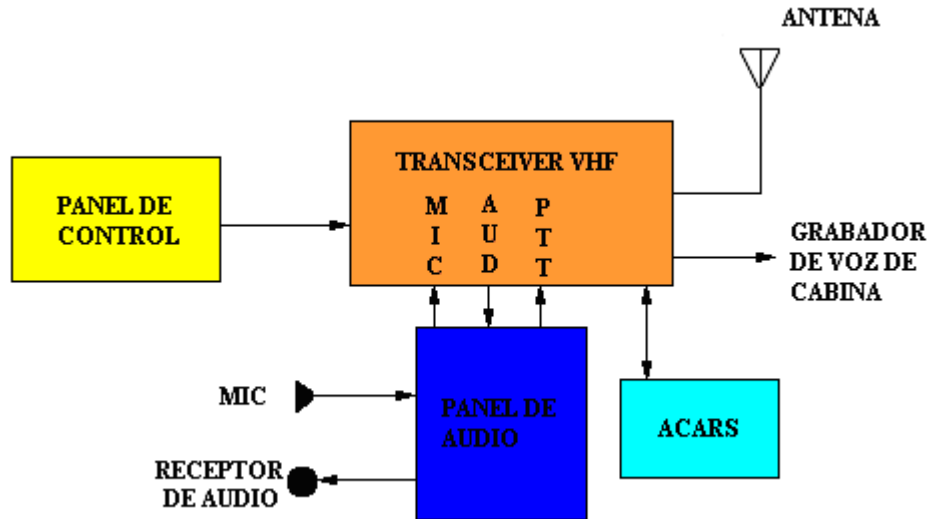


Fuente: Len Buckwalter, Avionics Training

Usualmente hay tres radios, el tercero (ver Figura 3) es utilizado para el sistema ACARS, el cual es un sistema de enlace de datos objeto de este estudio más adelante. Las diferencias como se puede apreciar con los otros dos radios es la conexión al ACARS. No hay panel de control ya que la frecuencia del ACARS es preseleccionada. Es decir la transmisión de mensajes es automática. El piloto puede disponer también del servicio de voz en esta radio. Los radios VHF-Com en aeronaves de categoría transporte usualmente utilizan alimentación de 28 VDC, con una potencia de 25 Watts.³

³ Len Buckwalter, Avionics Training , Systems Installations and Troubleshooting , Second Edition

Figura 3 Configuración del Tercer Radio VHF-Com



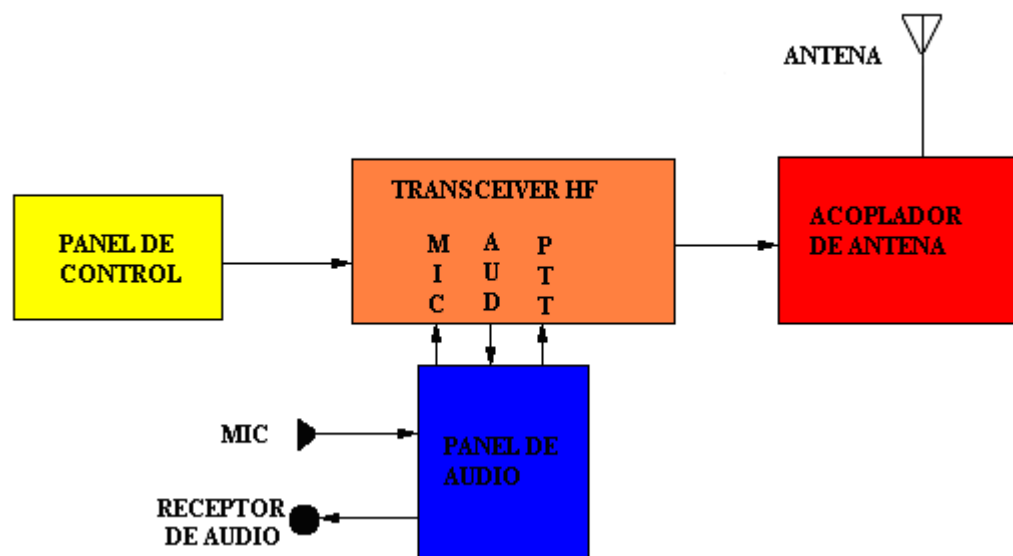
Fuente: Len Buckwalter, Avionics Training

4.1.3 HF Com: Comunicaciones de Alta Frecuencia: Debido a la falta de cubrimiento de rango de la señal en VHF, en regiones polares, oceánicas, o áreas remotas es utilizado el sistema de comunicaciones en alta frecuencia. Las señales de VHF necesitan de línea de vista y no se ajustan a la curvatura de la tierra. Los radios HF cubren hasta 6000 nm en la frecuencia de 2 a 30 MHz, ya que sus ondas rebotan en la ionosfera y logran abarcar una gran distancia. Su alta cantidad de ruido y la inestabilidad de la señal debido a los cambiantes esquemas atmosféricos entre el día la noche, y la radiación solar hacen que este sistema no tenga la confiabilidad y la precisión necesaria para ser un medio primario de comunicación.

En la

Figura 4 puede apreciarse un esquema típico de configuración del HF Com. Aunque existe la tecnología de enlace de datos en HF sus desventajas frente a los sistemas de VDL hacen que haya sido relegada por estos.

Figura 4 Configuración de HF-Com para aeronaves categoría transporte



Fuente: Len Buckwalter, Avionics Training

4.1.4 SATCOM: Comunicaciones Satelitales: El sistema SATCOM provee comunicaciones entre la aeronave y tierra a través de la mayor parte del mundo. Puede verse como un reemplazo para las comunicaciones HF, como banda de gran rango. Ya que no hay problema de reflexión o distorsión en la atmósfera, las ondas penetran y no se ven afectadas por clima o ruido eléctrico. Pueden manejar datos de comunicación como voz digital. La red que soporta los satélites es llamada Inmarsat (Internacional Maritime Satellite). Usa cuatro satélites y provee

voz y datos sobre todo el mundo. Ya que los satélites se encuentran sobre el ecuador su cubrimiento sobre los polos es limitado. Las regiones en las que se encuentran los satélites se dividen en cuatro y son:

- Región Oceánica del Pacífico (POR)
- Región Oceánica Indica (IOR)
- Región Oceánica del Atlántico Oeste (AOR-W)
- Región Oceánica del Atlántico Este (AOR-E)

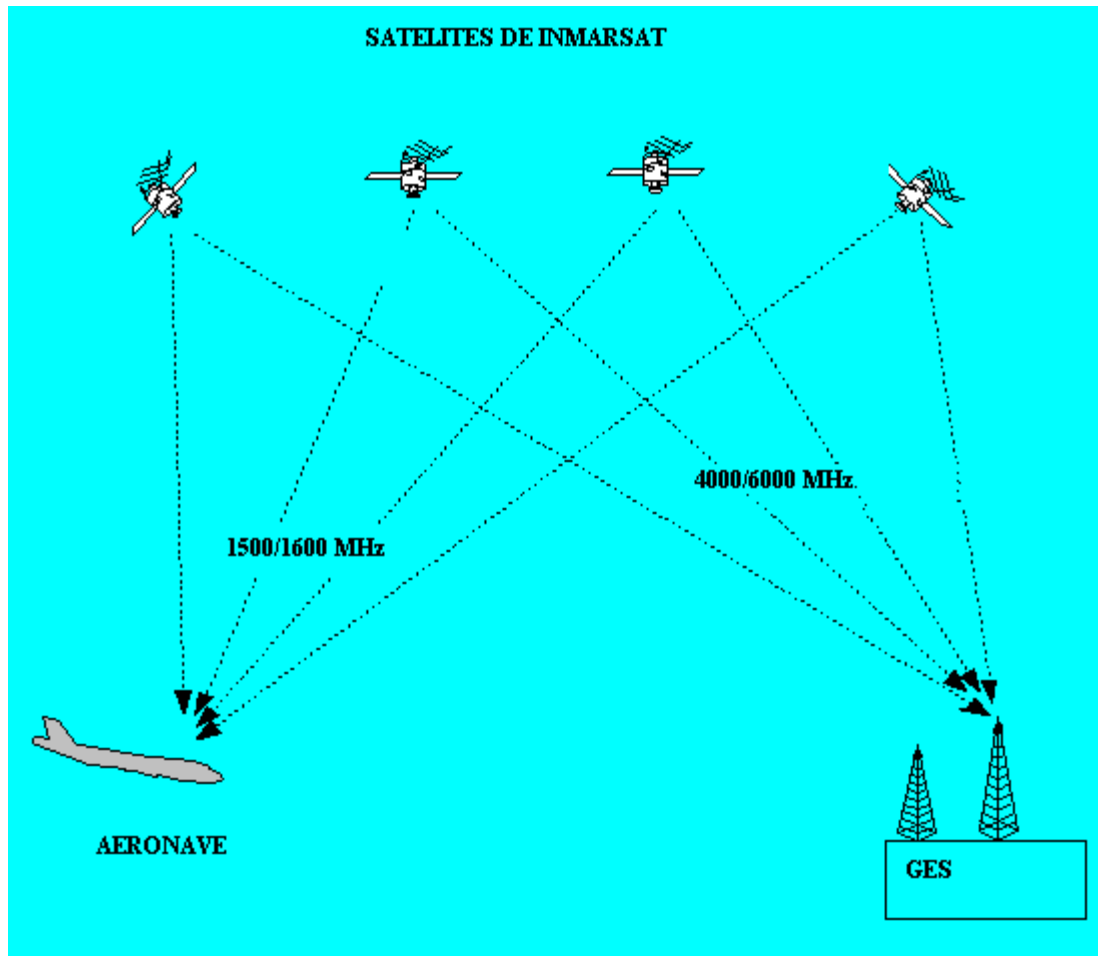
Además de esto los otros dos mayores componentes del sistema son:

- Ground Earth Station (GES), estas reciben los mensajes enviados por las aeronaves desde los satélites, pasándolos a compañías que manejan esta información.
- Aircraft Earth Station (AES), es el sistema de aviónica a bordo de la aeronave para comunicación con los satélites, y se encuentra en el ARINC 741. ⁴

En la Figura 5 puede observarse el funcionamiento del Satcom y a las frecuencias a las que trabaja.

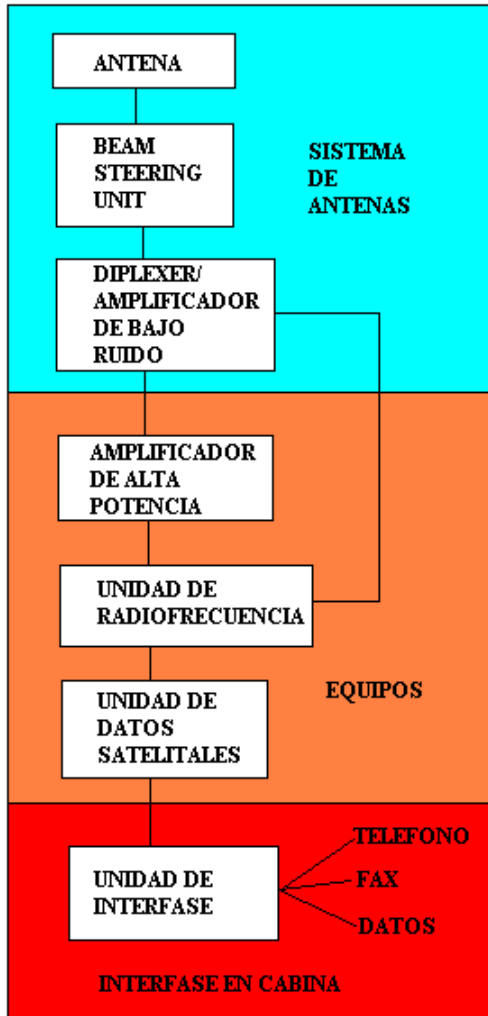
⁴ Len Buckwalter, Avionics Training , Systems Installations and Troubleshooting , Second Edition

Figura 5 Funcionamiento de SATCOM.



En la Figura 6 puede apreciarse el conjunto de SATCOM a bordo de la aeronave o (AES). Este envía y recibe señales de radio frecuencia en la banda L (1.5-1.6 GHz), y provee la interfase necesaria a bordo como voz, fax, video, y datos.

Figura 6 Aviónica a borde la aeronave para Satcom



Fuente: Len Buckwalter, Avionics Training

4.1.5 SELCAL: Llamada Selectiva: Ya que la recepción de HF durante los vuelos oceánicos es muy ruidosa y muchos mensajes se envían a otras aeronaves, los pilotos prefieren apagar el audio. Como los niveles de vuelo y de separación se controlan por dicho canal es necesario tener una alarma que de aviso al piloto sobre cualquier mensaje enviado por el controlador. En tierra a

menos de 200 nm, las aerolíneas usan este servicio (VHF como banda) como vía privada de comunicación con las aeronaves. Ya que es una llamada selectiva solo una aeronave será la que responda a cualquiera de los llamados en tierra. El decodificador del SELCAL es una unidad de reemplazo en línea (LRU) localizada en la bahía electrónica. El código de cuatro letras asignado para cada aeronave es programado antes de vuelo. Algunas aeronaves tienen dos decodificadores para cuatro radios (2 de VHF y 2 de HF). La Tabla 4 muestra la frecuencia y el tono correspondiente a cada una de ellas.

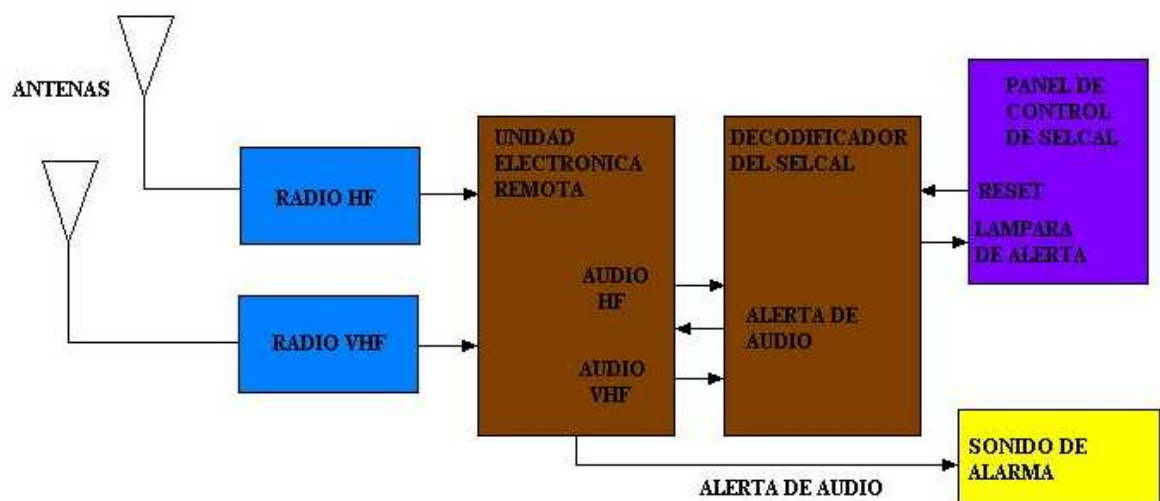
Tabla 4 Tono de Selcal y su respectiva frecuencia

| Tono | Frecuencia (Hz) |
|------|-----------------|
| A | 312.6 |
| B | 346.7 |
| C | 384.6 |
| D | 426.6 |
| E | 473.2 |
| F | 524.8 |
| G | 582.1 |
| H | 645.7 |

| Tono | Frecuencia (Hz) |
|------|-----------------|
| J | 716.1 |
| K | 794.3 |
| L | 881.0 |
| M | 977.2 |
| P | 1083.9 |
| Q | 1202.3 |
| R | 1333.5 |
| S | 1479.1 |

En la Figura 7 puede apreciarse la configuración por equipos en del SELCAL para una aeronave de categoría transporte, compuestas por los transceivers de HF y VHF, las unidades decodificadoras y la interfase con la tripulación

Figura 7 Configuración del SELCAL a bordo de la aeronave



Fuente: Len Buckwalter, Avionics Training

4.1.6 VHF/AMSS: El Aeronautical Mobile Satellite Service (AMSS) provee voz digital y servicios de datos utilizando satélites estacionarios. Para el uso del AMSS es necesario hacer arreglos con un proveedor de servicios de satélites para enlace del satélite y los equipos asociados para operar y mantener los enlaces. En los arreglos es necesario establecer el costo efectivo del servicio de mensajes. Este sistema esta disponible pero en muy pocas aeronaves. Es necesario nuevos radios y transpondedores.

4.2 FANS (FUTURE AIR NAVIGATION SYSTEM) – CNS/ATM

4.2.1 Concepto de FANS: El concepto de FANS abarca gran importancia en las comunicaciones aeronáuticas actuales y futuras, pues gracias a estos sistemas futuros se logrará optimizar y controlar eficazmente los ciclos de vuelo de las aeronaves y las comunicaciones con las mismas, por esto, es necesario conocer porque se desarrollaron estos sistemas, a continuación se presentan algunas ideas.

- Hoy día el transporte aéreo presenta las desventajas como, retardos en las salidas, rutas largas, niveles de vuelo y velocidad no optimizadas, retardos en las llegadas de los vuelos, lo que conlleva descontento entre los pasajeros, y causa que haya mayor congestión en los aeropuertos y dinero perdido por las aerolíneas.
- Por otro lado las comunicaciones VHF han mostrado cierta insuficiencia en las comunicaciones tierra-aire, aire-aire, presentado muchos malentendidos debido a las continuas interferencias, la congestión de las frecuencias y al aumento del tráfico aéreo en todas las partes del mundo.

Con el concepto de FANS logra cubrir algunos aspectos como son:

- Manejo del espacio aéreo (Economía)

Rutas dinámicas mas flexibles, rutas directas con lo cual las distancias serán menores concepto RNAV.

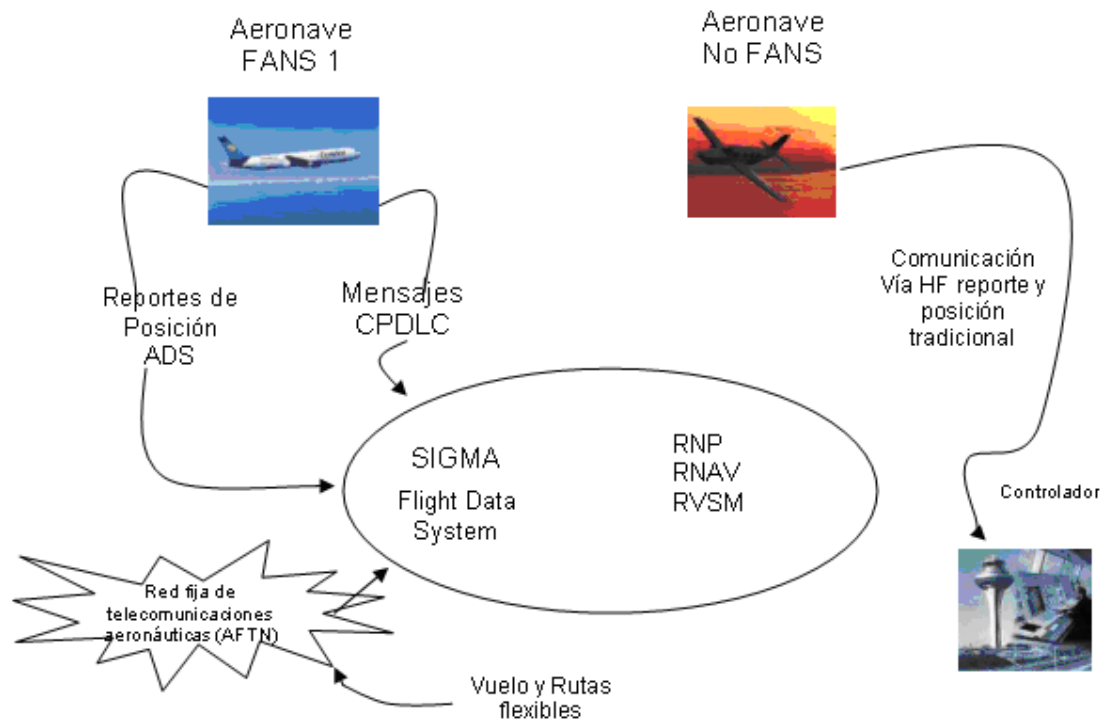
- Servicios de tráfico aéreo (Capacidad/Economía)

Separación segura de las aeronaves basadas en una automatización avanzada de las nuevas tecnologías. Al lograr menor separación se podrá tener una mejor utilización del espacio aéreo y más aeronaves volando separadas de forma segura

- Seguridad

Con este nuevo concepto se logrará mejorar las comunicaciones controlador piloto

Figura 8 Concepto FANS



El la

Figura 8 se modela el contexto de FANS, donde se representa la situación de un avión FANS y otro no FANS. El no FANS se comunica vía HF para reportar

parámetros principales como de posición, reporte situación de vuelo e forma tradicional con las desventajas ya conocidas del método usual como los malentendidos. La aeronave FANS posee el servicio CPDLC, el cual permite intercambio de información, “clearances” y manejo de frecuencia. Cuenta con un equipo de abordaje ADS el cual permite obtener reportes de la aeronave sin intervención alguna por parte del piloto y en cuanto a vigilancia con el propósito de permitir al observador conocer la posición de una aeronave específica en tierra.

Lo importante de ser FANS es que posee enlace con el sistema SIGMA el cual dará reportes más exactos en cuanto al clima, además de contar con equipos de navegación aérea moderna que permiten realizar rutas más directas y flexibles con una consecuente disminución de la distancia de vuelo, lo que conlleva a la disminución de costos y conceptos como RNP, RVSM, RNAV que se encargan de posicionar la aeronave con mayor exactitud y la reducción de separación entre aeronaves respectivamente. Con el RVSM según Eurocontrol⁵ en su documento EUR RVSM se logra la disminución en el consumo de combustible estimado de 1.6% a 2.3 %, y la reducción de la emisión de óxido nítrico y dióxido de carbono de 1 a 2%, además de la disminución de los retardos en un 40%.

4.2.2 Clasificación de FANS: El primer reporte de FANS se publicó en 1988 y sentó las bases para la estrategia futura de la industria para el ATM a través de la

⁵ http://www.eurocontrol.int/mil/public/standard_page/rvsm1, EUR RVSM, Disponible Mayo 2008.

mejora de las comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS), y así comenzó el trabajo sobre el desarrollo de las normas técnicas necesarias para realizar el concepto FANS.

- FANS – 1: A principios de 1990, la compañía Boeing anunció una primera generación de productos FANS, conocida como FANS-1. Fue basada en el primer trabajo técnico de la OACI para el Automatic Dependent Surveillance (ADS) y Controller Pilot Data Link Communications (CPDLC), e implementó un paquete de software para el Flight Management Computer (FMC) en el Boeing 747-400. Este sistema usó la red de satélites existentes (Inmarsat Data-2), basado en comunicaciones ACARS, y fue orientado a operaciones en el Pacífico Sur. El despliegue de FANS-1 fue originalmente justificado para el mejoramiento de las rutas y por ende la reducción de consumo de combustible.

- FANS – A: Un producto similar fue desarrollado más tarde por Airbus para el A-340 y A-330. Boeing también lo extendió a sus aeronaves Boeing 777 y 767. Juntos estos dos productos se conocen como FANS-1/A. Los principales estándares en la industria que describen la operación de FANS-1/A son el ARINC 622 y el ED-100/RTCA DO-258. Las nuevas aeronaves A-380 y Boeing 787 tienen capacidad de FANS-1/A.

- FANS – B: Los productos compatibles con FANS-B de acuerdo a los estándares de OACI, los podemos encontrar en la familia de aeronaves A-320.

También fabricantes de aviónica como Rockwell Collins y Honeywell proveen productos para aeronaves Boeing, como el B-737, B-767 y el B-787 los cuales soportarán comunicaciones compatibles con ATN/CPDLC. Los principales estándares en la industria que describen la operación de FANS-B son el manual técnico de la OACI Doc9705, el ED-110B/RTCA DO-280B y el ED-120/RTCA DO-290.

4.2.3 CNS/ATM: En 1983 OACI inició una serie de actividades para definir el concepto del Futuro Sistema de Navegación Aérea (FANS) y dentro de esta el CNS/ATM (Communication, Navigation, and Surveillance/ Air Traffic Management). Entre sus primeras conclusiones, OACI señaló la utilización de nuevas tecnologías, basadas principalmente en el uso de satélites y sistemas digitales, como la solución más económica y viable para hacer frente a los problemas del tránsito aéreo. Los sistemas CNS, con distintos niveles de automatización, son los que soportan el sistema ATM. A nivel europeo, la estrategia ATM Link 2000+ de Eurocontrol, es la principal impulsora para la mejora del ATM hasta el año 2015 mediante la introducción de nuevas tecnologías.

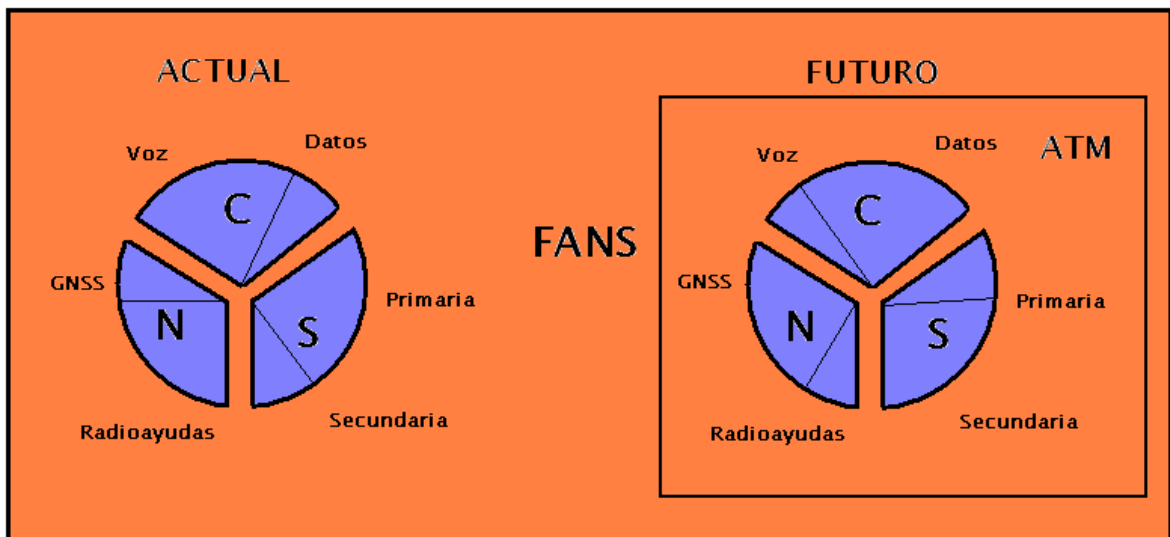
El concepto CNS/ATM está basado en la implementación de un número definido de situaciones operacionales y aplicaciones ATN que incluye:

- Servicios operacionales para la implementación usando data link.
- Las aplicaciones requeridas para el intercambio de información.

- Tecnologías de telecomunicación tierra/aire (VHF digital, VDL-modo 2, sistemas de satélite), protocolos de comunicación y elementos de intercambio de datos.

En la Figura 9 se puede valorar la tendencia en cada una de las áreas del CNS.

Figura 9 Tendencia CNS/ATM



El sector aeronáutico depende en un alto porcentaje para su operatividad y desarrollo de los sistemas de comunicaciones, que proporcionan a las aeronaves los servicios que éstas requieren. Las características tan particulares de este sector son las que definen el tipo de sistemas a emplear. La primera de ellas es la movilidad. El problema de la navegación aérea es fundamentalmente móvil. Además, un avión es un objeto cuya área de localización abarca un área geográfica extensa, con frecuencia todo el planeta, lo que se traduce en un aumento de la complejidad desde el punto de vista técnico. En segundo lugar, el

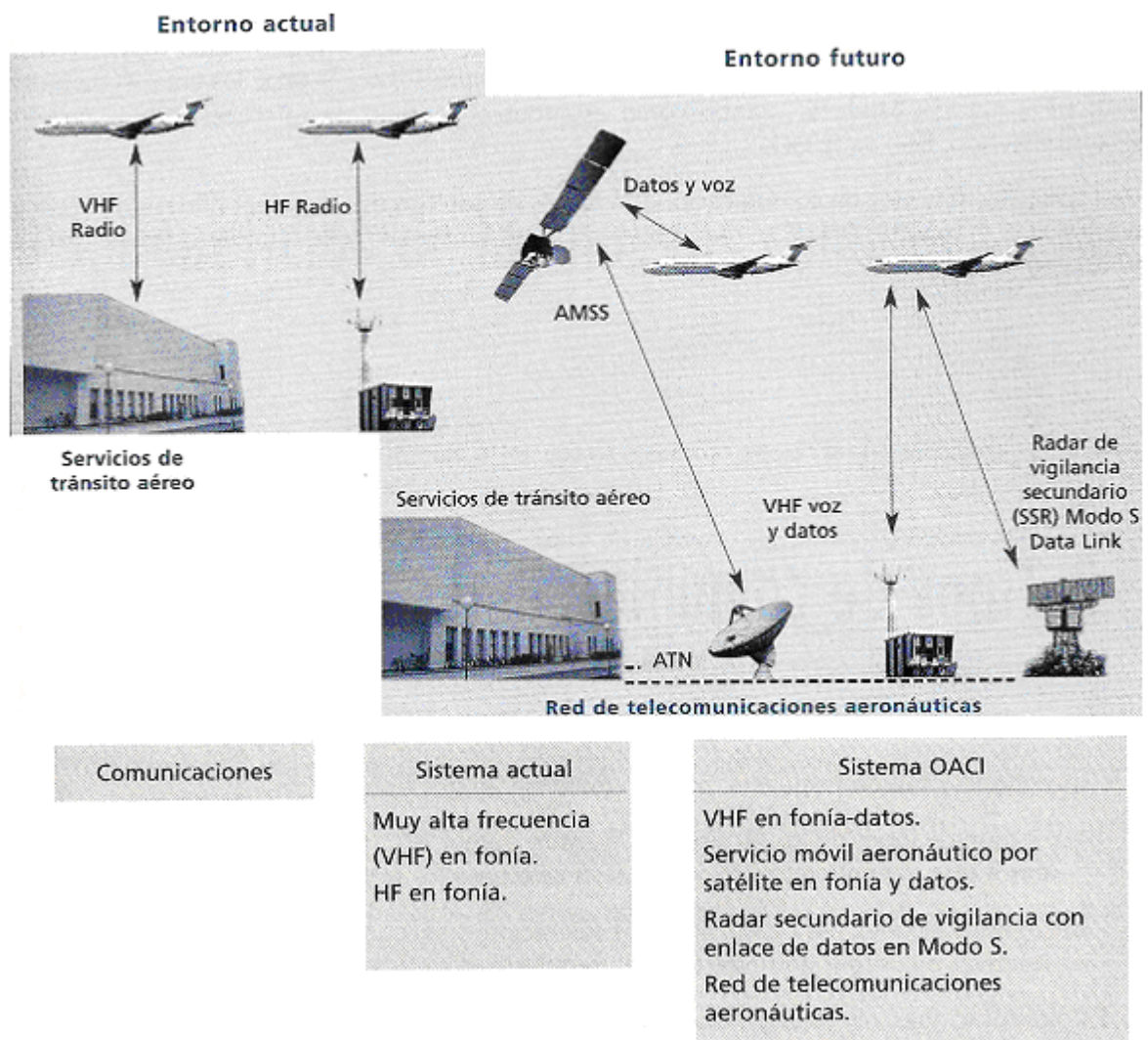
sector aeronáutico se encuentra fuertemente regulado y normalizado para garantizar la seguridad operacional hacia las personas que utilizan este medio de transporte. Los largos períodos que conlleva el proceso de estandarización de una tecnología y su puesta en marcha operacional (años e incluso décadas) unido al hecho de que, como consecuencia de los altos requisitos de seguridad, sólo las tecnologías suficientemente probadas y conocidas (fundamentalmente analógicas hasta el momento) pueden ser empleadas tanto en tierra como a bordo, ha provocado un cierto inmovilismo en el sector aeronáutico, del que intenta salir para poder hacer frente a la congestión de las bandas de frecuencias de uso aeronáutico y al aumento del tráfico aéreo (estimado por EUROCONTROL en más de un 50% en Europa hasta el año 2020) mediante la optimización de rutas, procedimientos y operaciones, la introducción de sistemas de comunicaciones digitales (o de enlace de datos) y la automatización de tareas en el ATS (*Air Traffic Services*).

- Comunicaciones en el CNS/ATM: El primer problema presentado en las comunicaciones han sido los inconvenientes de entendimiento debido al idioma usado, la baja transferencia de información, entre otros, lo que ha logrado un auge de nuevas tecnologías que entren a radicar paulatinamente estos problemas presentados actualmente en este campo.

El VHF y HF son los tipos de radiofrecuencias en los cuales se ha basado y se basa la mayoría de las comunicaciones aéreas. VHF se ve limitada por la línea de

visión en su alcance. Este problema se resuelve con HF pues permite llegar a zonas sin cobertura de línea de visión pero trae consigo problemas de propagación. La Figura 10 es una clara demostración de cómo piensa la OACI deben ser las comunicaciones aeronáuticas hacia el 2015

Figura 10 Tendencia de las Comunicaciones en CNS/ATM

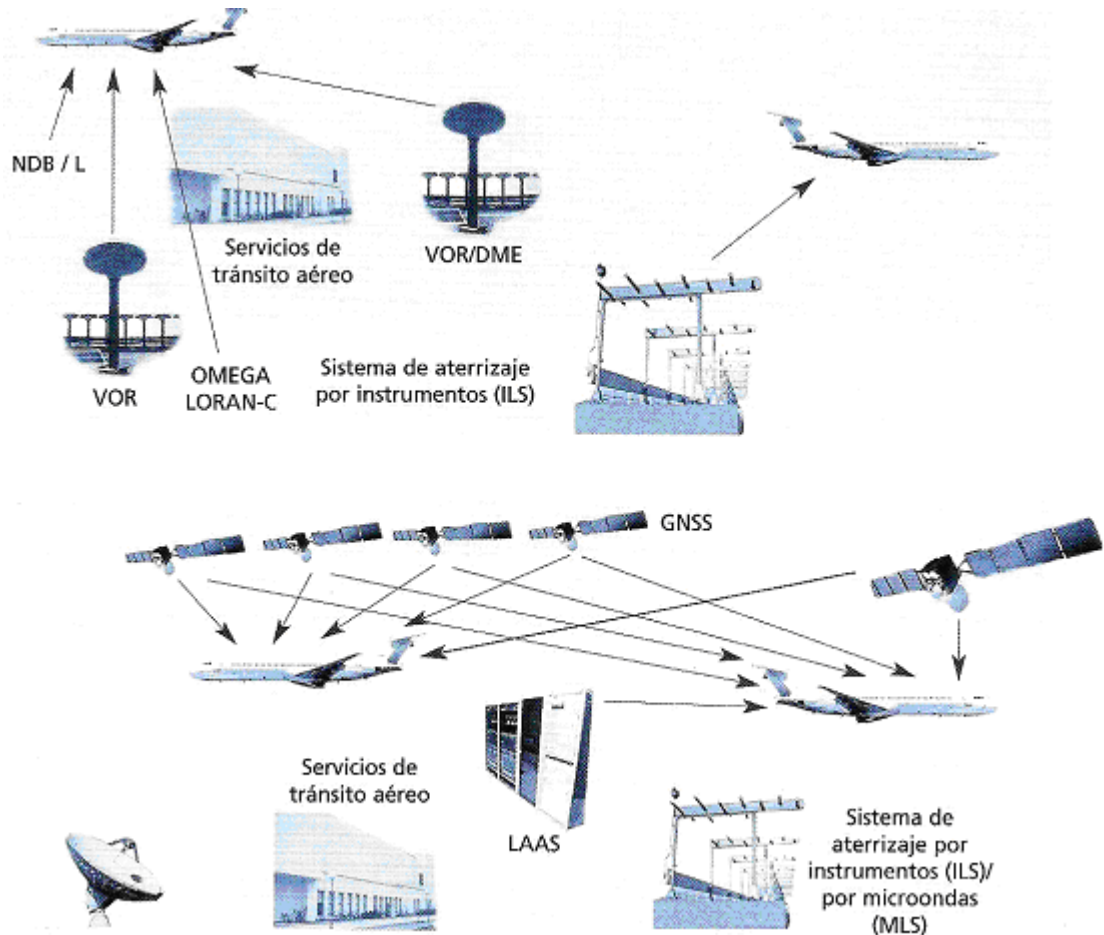


Fuente: Morales L., Juan de Mata. Sistemas CNS/ATM. Aeropuertos españoles y navegación aérea (AENA). 2001, p.55.

Podemos distinguir ciertas categorías en las comunicaciones aeronáuticas entre las cuales encontramos, comunicaciones de seguridad operacional que son comunicaciones de control de tráfico aéreo entre dependencias ATS ó una dependencia ATS y una aeronave. Por otro lado las AOC (comunicaciones de operaciones aeronáuticas) que permiten conocer la eficacia de los vuelos y la seguridad de los mismos. Comunicaciones no relacionadas con la seguridad operacional, en dados casos las comunicaciones pueden ser no formales, es decir, aquellas que se realizan para fines administrativos comunicación empresa-piloto (AAC) y otros casos comunicaciones de los pasajeros (APC).

- Navegación en el CNS/ATM: Los sistemas de navegación brindan servicios para poder determinar la posición fiable, precisa y continúa en todo el mundo. Con los nuevos sistemas esto se logrará con la introducción de la navegación por satélite. Hoy día, esto se logra gracias a estaciones terrestres “radioayudas”, (VOR, DME, NDB-ADF) como se explicó anteriormente, las cuales tienen la función de permitir a la aeronave trazar su ruta y navegar a través de ella hacia un lugar o aeropuerto específico. El nuevo concepto en navegación es GNSS (Global Navigation Satellite Service) con sus correspondientes sistemas de aumentación (SBAS, ABAS y GBAS). Este sistema permitirá determinar la posición, velocidad y tiempo, a través del uso de una o más constelaciones de satélites, receptores en los aviones, estaciones de monitoreo en tierra, como se ve en la Figura 11.

Figura 11 Tendencia de la Navegación en CNS/ATM



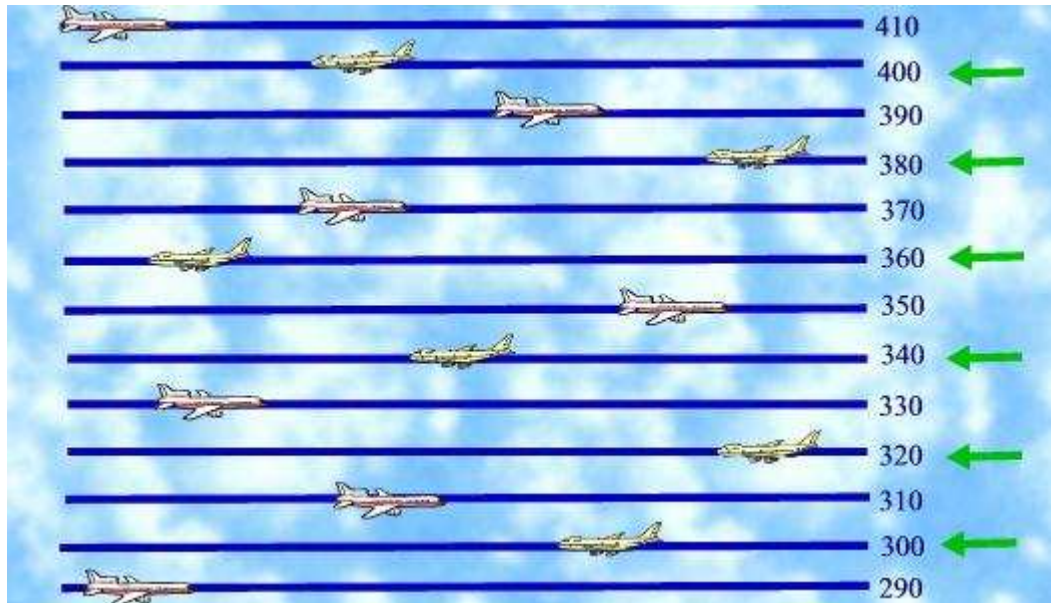
Fuente, Morales L., Juan de Mata. Sistemas CNS/ATM. Aeropuertos españoles y navegación aérea (AENA). 2001, p.73.

- RNAV - Area Navigation: Es un método de navegación el cual permite a la aeronave volar sobre una trayectoria establecida sin necesidad de hacerlo directamente por encima de las instalaciones de navegación aérea de base terrestre, como se hace actualmente, usando radioayudas como VOR, DME, DME, LORAN C, GPS/GNSS. Con esto se busca reducir las distancias de los vuelos,

mayor capacidad de uso del espacio aéreo, circuitos óptimos de espera, disminución del número de instalaciones terrestres de navegación.

- RNP - Required Navigation Performance Es definido por OACI como una “declaración de las prestaciones necesarias para operar dentro de un espacio aéreo determinado”. Con el Required Navigation Performance (RNP) se quiere aprovechar de manera óptima la capacidad del espacio aéreo y la importancia de la utilización del espacio disponible.
- RVSM – Reduced Vertical Separation Minimum: Es el concepto de una separación reducida mínima vertical de 300m (1000 ft) entre aeronaves y la cual fue introducida el 24 de Enero de 2002. Esta provee 6 niveles de vuelo adicionales entre FL 290 y FL 410 (ver Figura 12), resultando en grandes reducciones de costos de combustible y demoras en vuelo.

Figura 12 Concepto de RVSM



Fuente: Eurocontrol Navigation Domain, www.ecacnav.com/RVSM, Disponible Mayo 2008

Según morales⁶ los parámetros que definen el concepto RNP son: integridad, se relaciona con el grado de confianza que se puede asignar a la idoneidad de la información que proporciona el sistema. Continuidad, capacidad del sistema completo de funcionar sin interrupción durante la operación prevista. Precisión, es una característica física intrínseca al sistema de navegación, y es la primera que se evalúa para certificarlo. Suele definirse como la diferencia entre la posición estimada y la posición real, y se expresa de forma estadística como un determinado percentil en la distribución (típica) de errores. Disponibilidad,

⁶ Morales L., Juan de Mata. Sistemas CNS/ATM. Aeropuertos españoles y navegación aérea (AENA). 2001, p.83.

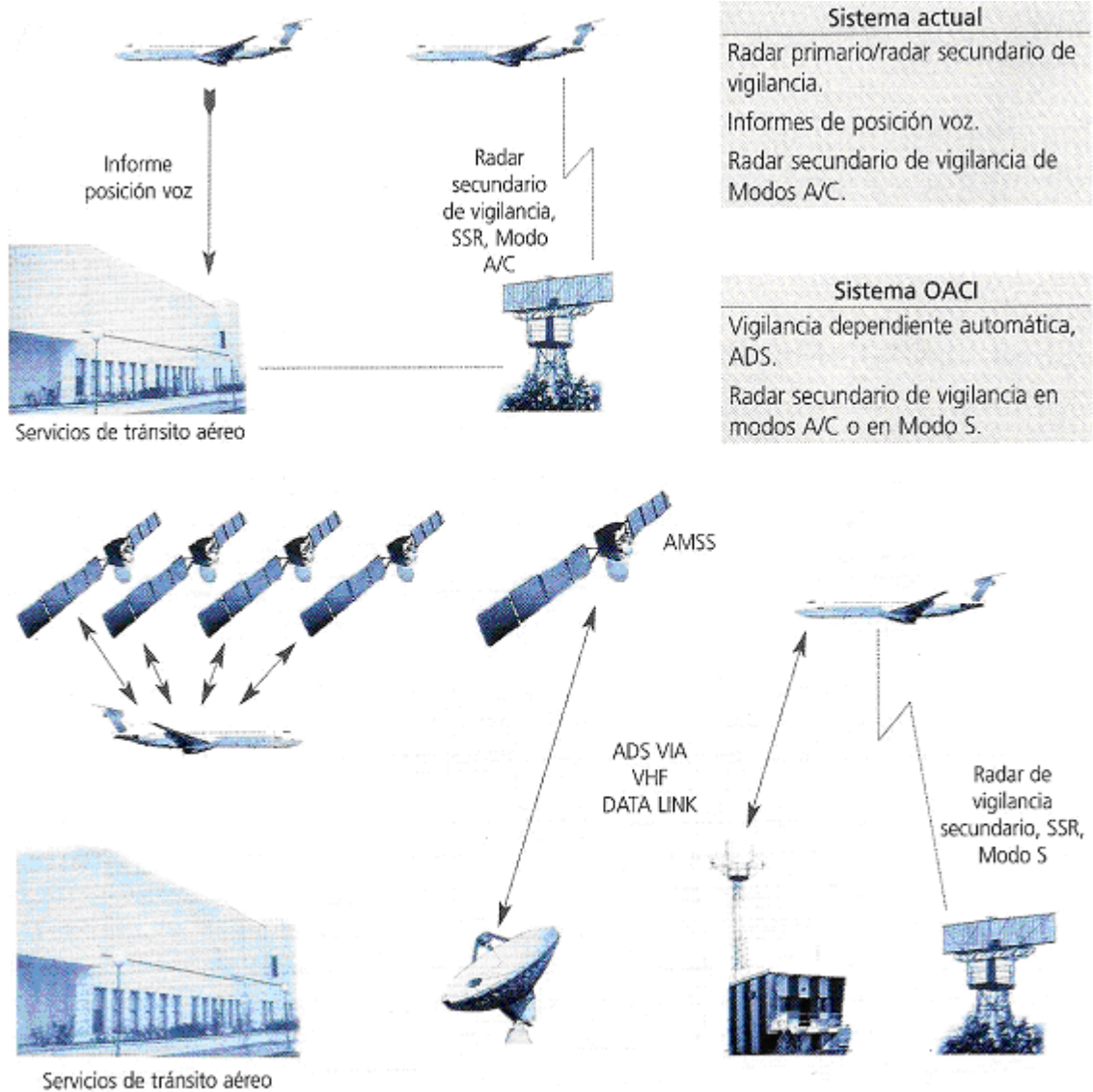
posibilidad que tiene el sistema de desempeñar su función al comienzo de la operación prevista.

- Vigilancia en el CNS/ATM: Aunque tal vez definir la función de vigilancia dentro del concepto de CNS/ATM puede ser difícil, con la función de vigilancia se intenta tener una noción exacta de la ubicación de las aeronaves en el espacio aéreo donde se da algún servicio.

A través de la Figura 13, se define tanto la situación actual como futura en el elemento vigilancia de los sistemas CNS/ATM.

- ADS-B - Automatic Dependent Surveillance Broadcast Es una técnica de vigilancia que se basa en la radiodifusión de la identidad, posición y otra información de las aeronaves. Esta señal puede ser usada en tierra para propósitos de vigilancia (ADS-B-out) ó abordado por otras aeronaves para la conciencia situacional del tráfico aéreo (ADS-B-in). Se espera que ADS-B-out comience a ser operacional a finales de 2008 y ADS-B-in en el 2011. Las principales ventajas de estos sistemas son el bajo costo cuando se compra con otras alternativas de vigilancia, su alta precisión, y el apoyo a otras aplicaciones de vigilancia aérea que permitirá beneficios de seguridad en el futuro.

Figura 13 Tendencia de la Vigilancia en CNS/ATM



Fuente, Morales L., Juan de Mata. Sistemas CNS/ATM. Aeropuertos españoles y navegación aérea (AENA). 2001, p.97.

4.2.4 ATM (Gestión de Tráfico Aéreo) Para la implementación de un ATM internacional se requiere el establecimiento previo de la infraestructura CNS explicada en los apartados anteriores. Para poder lograr esta implementación se deben cumplir algunos pasos claves: Instalación de equipos en los aviones y en tierra, es decir, tener montada toda la infraestructura CNS. La capacitación del personal, el cual es un ítem de gran importancia, ya que el éxito de su funcionamiento depende en gran proporción del factor humano. Haber realizado pruebas y demostraciones de los sistemas.

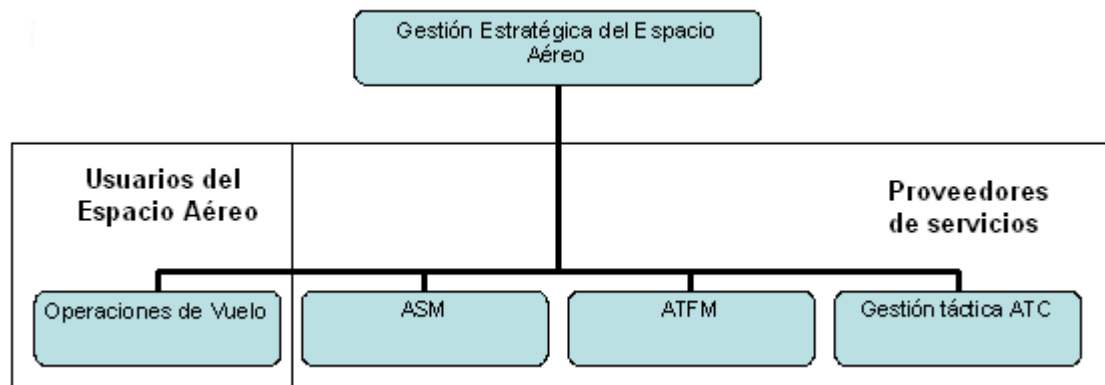
- Ventajas del ATM: Es importante conocer las ventajas que traerá la gestión del tráfico aéreo como lo son:

- ✓ Incrementar la seguridad operacional, reducir demoras en salidas y llegadas y aumentar la capacidad del espacio aéreo, esto se logra disminuyendo la separación espacial entre aeronaves.
- ✓ Mayor flexibilidad en las rutas, cada usuario tendrá la libertad de trazar su ruta como más le convenga.
- ✓ Transmisión de información de la aeronave a estaciones en tierra sin la intervención de la tripulación, lo cual reflejará una reducción en la carga de trabajo de la tripulación y también la congestión de canales.
- ✓ Se reducirán las tergiversaciones debidos al actual entorno de voz.

El concepto operacional del ATM se desarrolla teniendo en cuenta dos actores principales. Por un lado se encuentran los usuarios del espacio aéreo, aerolíneas entre otros los cuales realizan sus operaciones de vuelo, por el otro se encuentran los proveedores del servicio, entre los cuales se encuentran:

- ✓ Gestión del espacio aéreo, Airspace management (ASM).
- ✓ Gestión de las corrientes de tránsito aéreo Air traffic flow management (ATFM).
- ✓ Control de tránsito aéreo, Air Traffic Control (ATC).

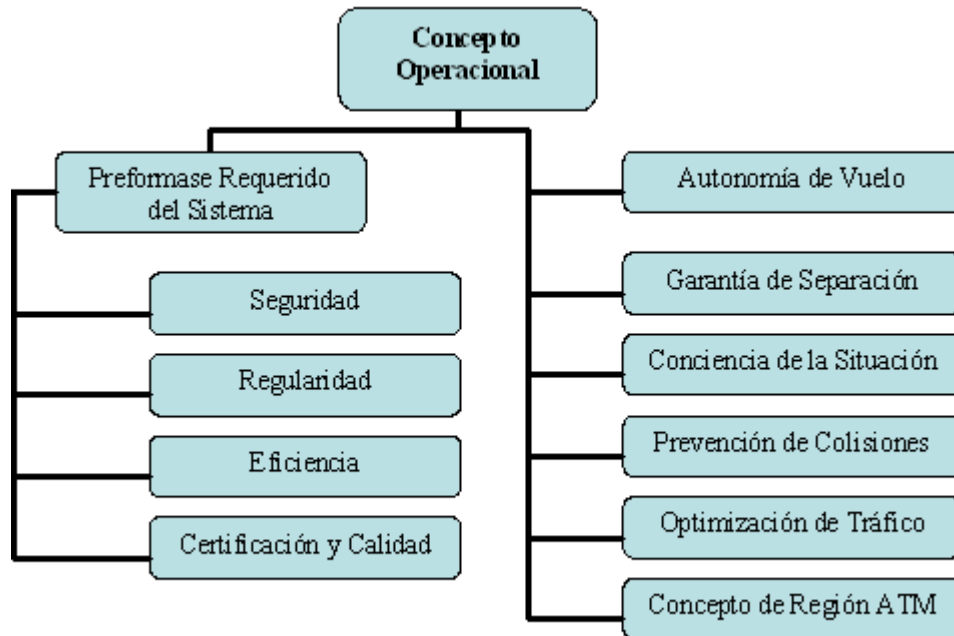
Figura 14 Concepto Operacional de un ATM Mundial



Fuente, Morales L., Juan de Mata. Sistemas CNS/ATM. Aeropuertos españoles y navegación aérea (AENA). 2001, p.44.

La Figura 14 y la Figura 15 representan organigramas que deben tenerse en cuenta para llegar a una excelente gestión del tráfico aéreo.

Figura 15 Componentes del concepto operacional ATM Mundial



Fuente, Morales L., Juan de Mata. Sistemas CNS/ATM. Aeropuertos españoles y navegación aérea (AENA). 2001, 44.

4.3 ENLACE DE DATOS (DATA LINK)

4.3.1 Objetivos del enlace de datos: El principal objetivo de introducir la comunicación de datos aire/aire y aire/tierra es automatizar las tareas de comunicación como más sea posible, y la entrega ó intercambio de información adicional, y así poder reducir la carga de trabajo para pilotos y controladores, incrementando la productividad del ATM y mejorando su situación de conocimiento, flexibilidad operacional y seguridad.

La comunicación de datos aire/tierra es uno de los nuevos desarrollos técnicos, ofrece más capacidad y eficiencia basada en:

- Reducción de la carga operacional asociada con cada vuelo.
- Automatización de la rutina de tareas de comunicación que no están directamente relacionadas para las tareas principales operacionales.
- Mejoramiento de la eficiencia y flexibilidad de las comunicaciones piloto/tierra.
- Mejoramiento conocimiento situacional pilotos/controladores
- La automatización de algunas tareas de mantenimiento (data link permitirá el mantenimiento de una copia visual de todo el intercambio de mensajes de la memoria de carga controlador/tripulación).
- Aumento del conocimiento situacional (nueva y más exacta disponibilidad de datos) que permitirá mejorar los procedimientos ATC

4.3.2 Beneficios de los enlaces de datos: Los principales beneficios que las tecnologías digitales aportan al sector aeronáutico son:

- Seguridad
 - ✓ Disminución drástica de los errores de comprensión.
 - ✓ Acceso a FIS.
 - ✓ Mejora del conocimiento de la situación del vuelo y de la información de vigilancia.

- Eficiencia
 - ✓ Rutas mejoradas/óptimas, lo que conlleva a que los tiempos de vuelo y los retrasos sean menores.
 - ✓ Reducción de los márgenes de separación.
- Capacidad
 - ✓ Mejora de la capacidad de Aproximación/Despegue.
 - ✓ Disminución de las restricciones por visibilidad.
 - ✓ Reducción de la carga de trabajo de los controladores.
 - ✓ Descongestión de las frecuencias de voz.

4.3.3 Otras tecnologías futuras a nivel mundial: En esta sección se introducen algunos de los sistemas digitales de comunicaciones aeronáuticas más importantes. El uso de una u otra tecnología depende del tipo de servicio que se pretenda proporcionar, así como del área geográfica que se quiera cubrir y la densidad de tráfico aéreo de la misma.

- HFDL - HF Data Link: Proporciona un servicio de enlace de datos T/A. Se caracteriza por su largo alcance, de miles de kilómetros, ya que hace uso de la reflexión en la ionosfera como método de propagación. Proporciona dos modos de operación: DLS (*Direct Link Service*) y RLS (*Reliable Link Service*). Cada estación de tierra suministra servicios simultáneamente en tres o cuatro frecuencias dentro

de la banda HF. Las aeronaves pueden medir la calidad de cada canal y elegir la frecuencia más apropiada. La modulación de la señal es MPSK, con codificación Gray y protocolo de acceso TDMA. La velocidad de los datos va desde 300 hasta 1800 bps. La tasa de bit no es fija, ya que HFDL introduce un adaptador dinámico de la misma basado en la relación señal a ruido y en la duración del mensaje. Sus limitaciones más importantes son una baja disponibilidad de frecuencias, altos retardos de transferencia e inestabilidad debido a la ionosfera.⁷

- Extended Squitter: Extended Squitter es una técnica que hace uso del transpondedor Modo S para difundir mensajes (ó *squitters*) espontáneos no solicitados por ninguna estación. Para proporcionar servicio A/A se necesita un receptor adicional embarcado en esa frecuencia. Los mensajes de *squitter* pueden extenderse en longitud para transmitir la información procedente de otros sensores como el GPS o el INS (*Inertial Navigation System*).

- UAT Universal Access Transceiver: Es un sistema de comunicaciones digitales desarrollado por MITRE en EE.UU. que actualmente se encuentra bajo ensayo. El equipo opera en una única frecuencia consiguiendo una alta tasa de transmisión (1 Mbps). Los ensayos realizados han utilizado la frecuencia 966 MHz. Sin

⁷ <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit149/74-77.pdf> , Disponible Abril de 2008

embargo, hay que decir que esta frecuencia está dentro de la banda de DME, lo que podría originar incompatibilidades con dicho sistema.

- Link-16: Link-16 es un sistema de comunicaciones tácticas digitales desarrollado por la OTAN basado en JTIDS/MIDS (*Joint Tactical Information Distribution System/Multifunctional Information Distribution System*). Se caracteriza por su gran capacidad y resistencia a interferencias. Proporciona comunicaciones flexibles, así como funciones de navegación, identificación, vigilancia. Es capaz de soportar comunicaciones A/A y A/T, tanto punto a punto como punto a multipunto. Opera en la banda 960-1215 MHz, en 51 frecuencias distintas, evitando las interferencias con DME y TACAN (*Tactical Air Navigation System*). Emplea varios tipos de espectro ensanchado y claves criptográficas. La capacidad del terminal es de 54 kbps utilizando el formato de mensaje *pack-2 double pulse*. Su radio de cobertura normal es de 300nm, si bien pueden alcanzar 1000 nm mediante un mecanismo de retransmisión.⁸

⁸ IBID

4.4 ANALISIS TECNICO DE LOS SISTEMAS DE ENLACE DE DATOS PARA COMUNICACIONES AERONAUTICAS

4.4.1 Modelo OSI

Antes de comenzar a realizar el estudio técnico del enlace de datos, se examinará el fundamento del modelo (OSI) Open Systems Interconnection. El modelo OSI fue desarrollado por la Organización Internacional de Estándares (ISO) como un modelo de arquitecturas de interconexión de sistemas de comunicaciones para el desarrollo de estándares de protocolos.

El modelo OSI define la teoría de los protocolos y servicios de comunicaciones entre dos sistemas en varios niveles o capas.

- Protocolo: Es el conjunto de normas que regulan la comunicación - establecimiento, mantenimiento y cancelación - entre los distintos dispositivos de una red o de un sistema.
- Niveles (Layers ver
-
-
- **Tabla 5)**: Todo nivel esta constituido por una entidad que agrupa un conjunto de funciones que proporcionan servicios específicos para la comunicación. Cada nivel recibe servicios del nivel inferior y proporciona servicios al nivel superior.

Tabla 5 Modelo OSI

| | OSI | EJEMPLOS DE LAN |
|---------------------|--------------|-----------------|
| User interface | Application | Web Browser |
| Transform/translate | Presentation | |
| Process | Session | HTTP , FTP |
| Data delivery | Transport | TCP |
| Packets | Network | IP |
| Frames | Data Link | Ethernet , ATM |
| Raw Bits | Physical | Twisted pair |

Fuente: "VDL 4 radio design" Sectra Corporation. Junio de 2000

- Capa física (Physical): El nivel de capa física se ocupa de la transmisión de bits a través de un canal de comunicación, así como también define sus características. Regula aspectos de la comunicación como el tipo de señal (analógica, digital), el esquema de codificación, sincronización de los bits, tipo de modulación, tipo de enlace (punto-punto, punto- multipunto), el modo de comunicación (dúplex, half-dúplex o símplex), tasa de bits (número de bits por segundo), topología empleada, y, en general, todas las cuestiones eléctricas, mecánicas, señalización y de procedimiento en la interfaz física (cables, conectores) entre los dispositivos que se comunican.

- **Capa de Enlace de Datos:** La capa de enlaces de datos ensambla los bits de la capa física en grupos de tramas (protocolos de red) y asegura su correcto envío. También es la encargada de la verificación y corrección de errores de la capa física, en caso de que ocurra un error en los bits se encarga de avisarle al transmisor de que efectúe una re-transmisión y por lo tanto la capa de enlace se encarga también del control de flujo de los datos. La capa de enlace de datos se divide en dos subcapas: LLC (Logical Link Control) la cual define como los datos son transferidos sobre el cable y provee servicios de enlace de datos a las capas superiores. MAC (Medium Access Control): define quien puede usar la red cuando múltiples dispositivos están intentando acceder simultáneamente.
- **Capa de Red:** Es la responsable del envío fuente a destino de los paquetes, es decir, se asegura que cada paquete llegue desde su punto inicial hasta su punto final. Si dos sistemas están conectados en el mismo enlace, no existe la necesidad de la capa de red (por ejemplo una LAN). Sin embargo, si dos sistemas están en diferentes redes (enlaces) será necesaria una capa de red para culminar la entrega fuente a destino del paquete.
- **Capa de Transporte:** Es la responsable del envío fuente a destino del mensaje entero. Mientras que la capa de red supervisa el envío extremo-extremo de paquetes individuales, la capa de transporte no reconoce cualquier relación entre esos paquetes. Trata cada uno independientemente, sin embargo cada

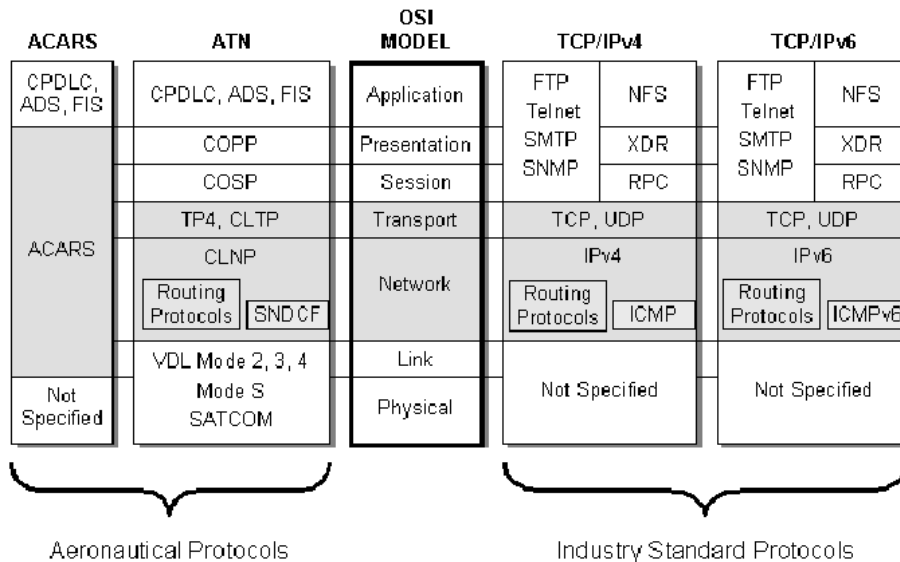
pieza pertenece a un mensaje separado. Por otro lado, la capa de transporte, asegura que el mensaje entero arribe intacto y en orden, supervisando el control de flujo y control de error al nivel de la fuente-destino.

- Capa de Sesión: Los servicios proveídos por las primeras tres capas (física, enlace de datos y red) no son suficientes para algunos procesos. La capa de sesión es controladora de diálogos de la red. Establece, mantiene y sincroniza la interacción entre los sistemas.
- Capa de Presentación: La capa de presentación se encarga de la sintaxis y la semántica de la información intercambiada entre dos sistemas. Dentro de las tareas específicas se encuentran: Traslación, Encriptación, Compresión.
- Capa de Aplicación: La capa de aplicación le permite al usuario acceder a la red.⁹

La Figura 16 compara diferentes protocolos de comunicaciones de la industria con protocolos como el ATN y ACARS.

Figura 16 Comparación de Protocolos con modelos OSI

⁹ Modelo de referencia OSI Disponible en <http://buenmaster.com/?a=234> Abril 2008



Fuente: NASA, Aeronautical Related Applications Using ATN and TCP/IP Research Report, Abril 2000

Podemos concluir que para los modos 2,3, y 4 aplica la Tabla 6, en la cual establece el modelo OSI:

Tabla 6 Comparación Modelo OSI con VDL Modo 2,3, y 4

| Modelo OSI | VDL Modo 2,3,4 |
|--------------|--|
| Application | Cockpit Display of Traffic Information (CDTI) Cockpit Display of Weather Controller Pilot Data Link Communications (CPDLC) |
| Presentation | Connection Oriented Presentation Protocol (COPP) |
| Session | Connection-Oriented Session Protocol (COSP) |
| Transport | (TP4) Maneja situaciones de pérdida y duplicado de paquetes y caídas de la red. También puede configurarse para detectar pérdida de integridad en los datos transportados -bits erróneos-. Connectionless Transport Protocol (CLTP) |

| | |
|-----------|--|
| Network | ConnectionLess Network Protocol (CLNP) |
| Data Link | CSMA, TDMA, STDMA |
| Physical | Canal de VHF |

4.4.2 Conceptos de CSMA, TDMA, STDMA

- CSMA - Carrier Sense Multiple Access: Este protocolo de acceso múltiple es caracterizado por que la estación que desea transmitir previamente escucha el canal antes de realizar la transmisión para asegurar que el canal esta libre para ejecutarla. Es decir, cuando se desea transmitir datos, lo primero que se debe determinar es si el canal o los medios de red están ocupados o no.

Como este protocolo se basa en escuchar y detectar si el canal para la transmisión está libre o no, se dice que está ocupado si hay portadora en el medio, y por lo tanto se sigue escuchando, si no ocurre esto, el medio está libre y se puede proceder con la transmisión. En algunos casos se presentan colisiones entre tramas de datos emitidos, cuando ocurre esto la señal recibida tiene bastante interferencia por lo cual es nula, ambas tramas serán incompresibles

para las otras estaciones y la transmisión habrá sido un desastre pues no se habrá comprendido el contenido del mensaje.

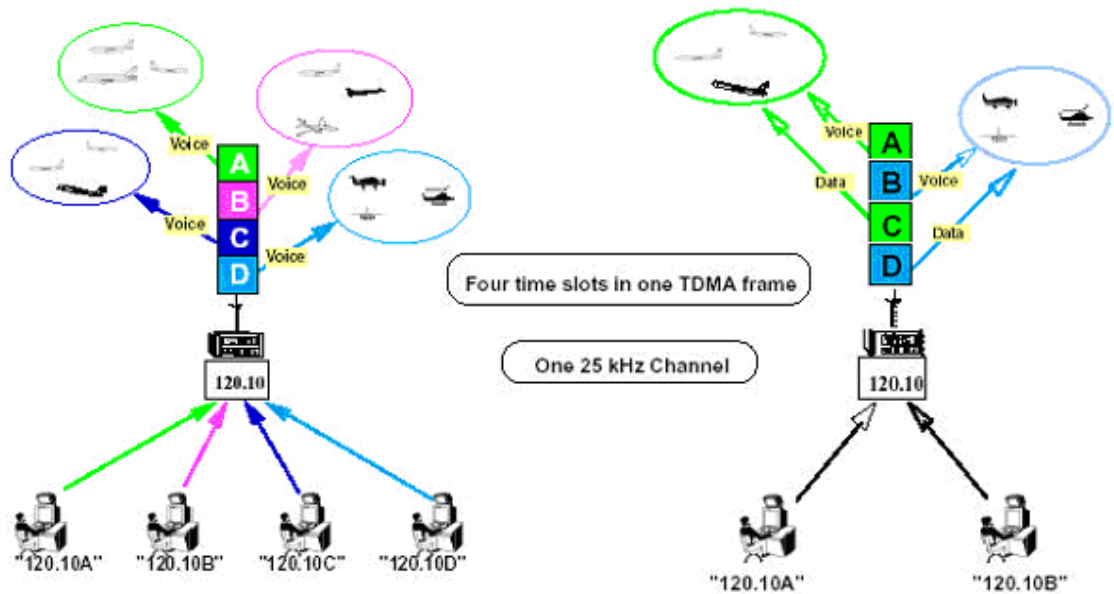
En el Review of Working Group C (Development of proposed SARPs for VHF data link) se tomaron las siguientes consideraciones con respecto al protocolo CSMA:

- ✓ CSMA es el protocolo usado para la operación VDL, en las áreas del mundo donde la densidad de tráfico aéreo está entre término medio y bajo.
 - ✓ Con el uso de la tecnología futura VDL, el CSMA serviría como Back-up en caso parcial de falla del sistema VDL.
- TDMA - Time Division Multiple Access: Un plan de acceso múltiple basado en la utilización en tiempo compartido de un canal RF que utiliza: (1) intervalos de tiempo discretos contiguos como el recurso fundamental compartido; y (2) un conjunto de protocolos operacionales que permiten a los usuarios interactuar con una estación principal de control para obtener acceso al canal.¹⁰

Este es un protocolo ó técnica que sirve de multiplexor es decir lo que hace este protocolo es distribuir la unidades de información en ranuras alternas de tiempo, con esto se logra tener un acceso múltiple de usuarios en un reducido número de frecuencias, como se observa en la Figura 17.

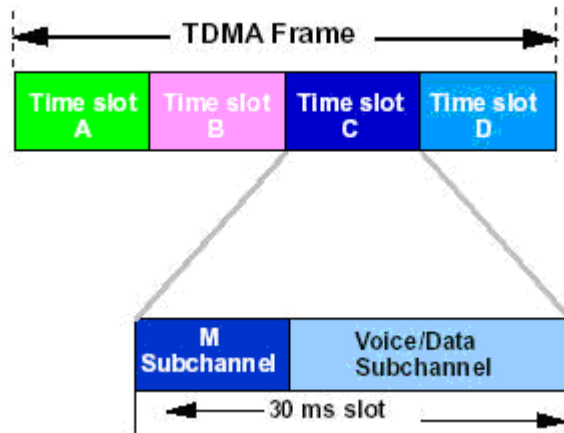
¹⁰ (Definición OACI anexo 10 Volumen 3 capítulo 6 pag. 392).

Figura 17. Esquema TDMA



Cuando se realice una transmisión le será asignada una ranura de tiempo (slot) específica para la transmisión, así varios usuarios podrán utilizar el mismo canal simultáneamente sin interferir entre sí, con esto se harán más comunicaciones aire tierra en un solo canal, por lo cual, se logrará descongestionar de cierta manera las frecuencias usadas actualmente. Por ejemplo en el VDL modo 3, el protocolo usado es el TDMA el cual usa 4 ranuras por frame y por cada ranura 30 ms. (ver Figura 18).

Figura 18. Configuración Slot TDMA



- STDMA - Self Organize Time Division Multiple Access: El GNSS junto con un eficiente link digital (data link) han mostrado ser un método factible como un camino alternativo para reemplazar o complementar los actuales sistemas radares para fines de vigilancia. Para poder realizar estos fines se necesita tener un algoritmo que combine la tecnología data link y el receptor GNSS juntos darán la organización de un link radio digital.

El sistema descrito combina las características de línea de vista de las frecuencias VHF. El enlace de datos (data link) puede ser compartido entre un gran número de estaciones, este algoritmo es llamado self organize time division multiple access (STDMA). El propósito de este algoritmo es permitir transmisiones cortas, de varias estaciones para ser organizadas en tiempo, con tal de que los conflictos en las trasmisiones sean minimizados, cuando estos conflictos en las transmisiones son presentados pueden reducir el rendimiento del sistema. Lo

interesante de este algoritmo es que es auto organizado, es decir, no necesita funciones de control.

Este algoritmo trabaja en ambientes dinámicos, asegurando la entrega segura de información crítica como es el caso del sector aeronáutico, para las demás estaciones.

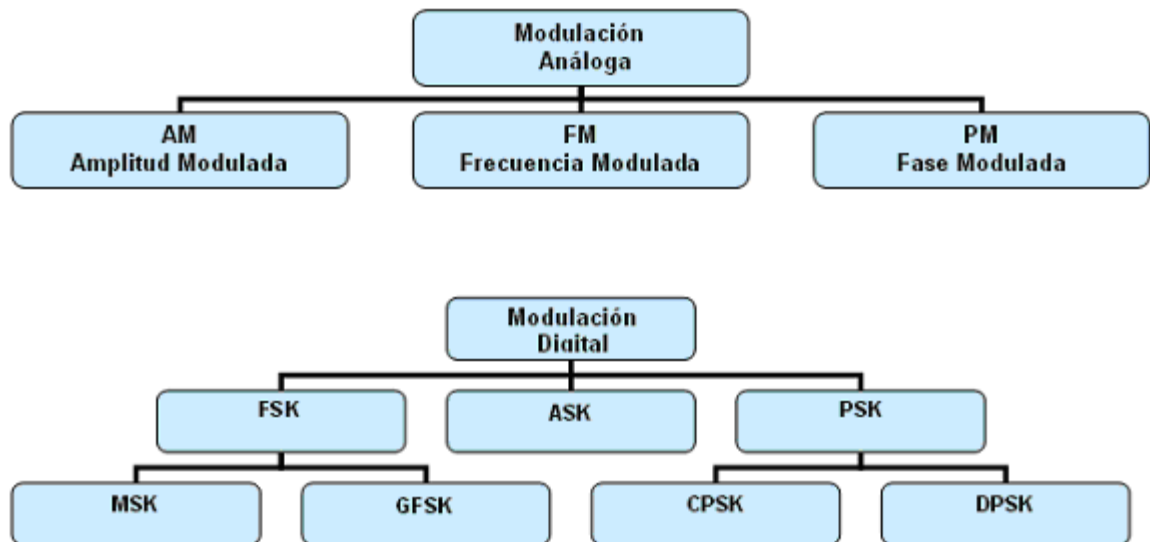
Las principales características que hacen al sistema factible para aplicaciones de vigilancia son:

- ✓ TDMA (time division multiple access) el cual entrega efectivo uso de la frecuencia.
- ✓ Discriminación alta de señales débiles, lo cual aumenta el rendimiento.
- ✓ Cada estación transmite continuamente su posición usando paquete de datos, los cuales ocupan una ranura. Este tiempo en la ranura es seleccionado usando el algoritmo STDMA.
- ✓ Slot time out: el cual indica cuantos minutos más la ranura estará ocupada.

4.4.3 Modulación Digital: Por lo general, hablamos de Modulación Digital cuando la información que se desea transmitir se encuentra en banda base digital (unos y ceros, paso o no de corriente eléctrica, encendido o apagado, bajo o alto). Una señal digital suele adoptar una forma periódica no senoidal cuadrada o rectangular, la transmisión de esta tiene un alto requerimiento de ancho de banda

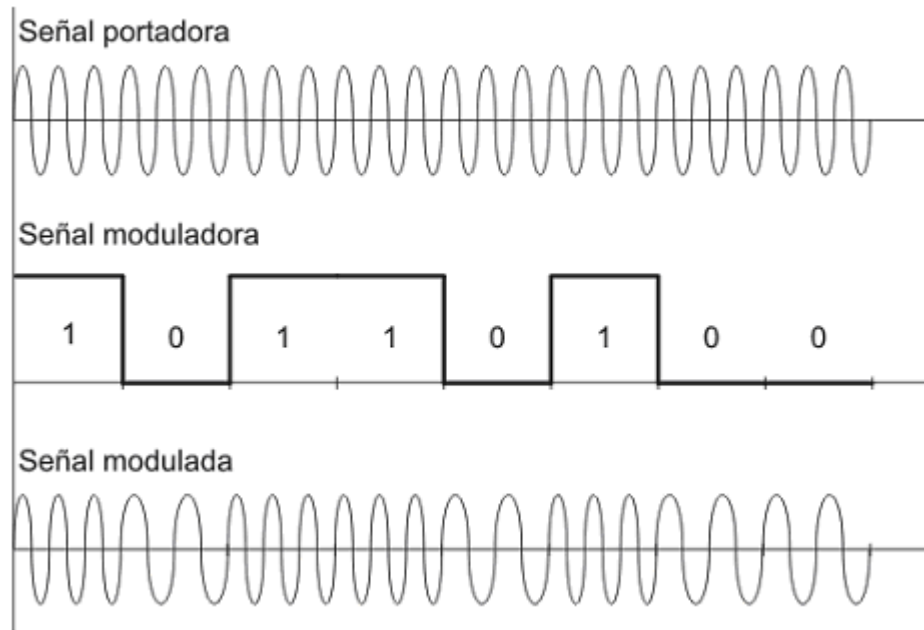
y no puede hacerse por un medio tradicional (como puede ser un cable de cobre). La señal original debe modularse para poder ser transmitida. Existen principalmente tres tipos de modulación digital, y son por desplazamiento de frecuencia, de amplitud y de fase como puede apreciarse en la Figura 19.

Figura 19. Modulación Análoga y Digital



- MSK – Minimum Shift Keying: FSK (Frequency-shift keying), es una modulación de frecuencia donde la señal moduladora (datos) es digital. Los dos valores binarios se representan con dos frecuencias diferentes (f_1 y f_2) próximas a la frecuencia de la señal portadora f_p . Generalmente f_1 y f_2 corresponden a desplazamientos de igual magnitud pero en sentidos opuestos de la frecuencia de la señal portadora. Generalmente f_1 y f_2 corresponden a desplazamientos de igual magnitud pero en sentidos opuestos de la frecuencia de la señal portadora.

Figura 20. Modulación FSK



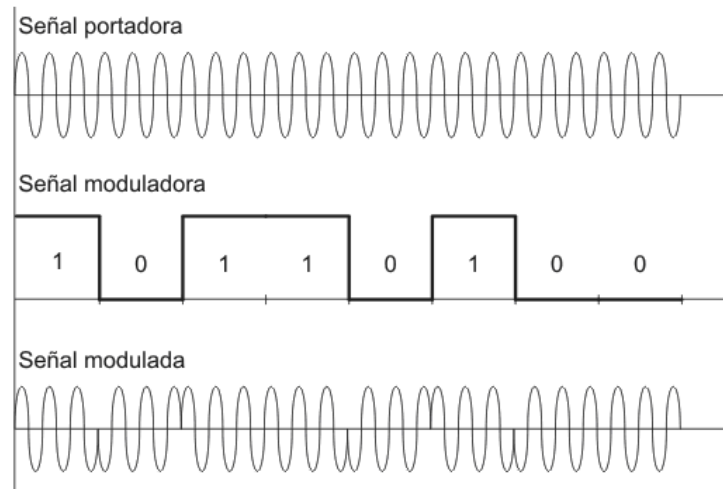
Fuente: textos científicos, www.textoscientificos.com/redes/modulacion/FSK, Disponible Junio 2008

MSK (Minimum Shift Keying) es un tipo especial de modulación FSK (Frequency Shift Keying) en donde 1's y 0's son representados por locomociones en la frecuencia de la portadora de RF. Cuando la tasa de bits de la señal modulante es exactamente cuatro veces la locomoción de la frecuencia de la portadora se consigue minimizar el espectro y la modulación es llamada de MSK (Minimum Shift Keying).

En MSK la palabra Minimum significa que es el menor valor (mínima separación de frecuencia) que es factible de ser demodulada coherentemente ortogonal. Cuando el tipo de filtro es Gaussiano la modulación se denomina GMSK. Esta es utilizada en el sistema celular GSM.

- DPSK - Differential Phase Shift Keying: PSK (Phase-shift keying), es una modulación de fase donde la señal moduladora (datos) es digital. Existen dos alternativas de modulación PSK (ver Figura 19): PSK convencional, donde se tienen en cuenta los desplazamientos de fase y PSK diferencial, en la cual se consideran las transiciones.

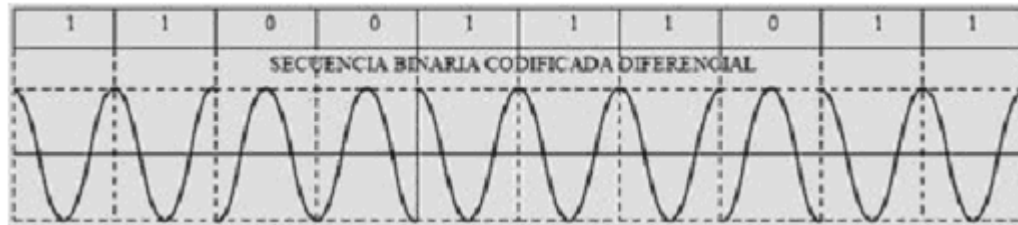
Figura 21. Modulación PSK



Fuente: textos científicos, www.textoscientificos.com/redes/modulacion/FSK, Disponible Junio 2008

Con la DPSK no es necesario recuperar la portadora de fase coherente. En su reemplazo, un electo de señalización recibido se demora por un intervalo de frecuencia del elemento de señalización, y a continuación se compara con el siguiente elemento de señalización recibida. La diferencia entre la fase de los electos de señalización determina la condición lógica de datos.

Figura 22. Modulación DPSK



- D8PSK: Lo que se busca con este método de modulación es cambiar la fase de la portadora la cual es la que lleva la información a transmitir de acuerdo con los cambios de la señal digital. Este tipo de modulación tiene gran ventaja porque permite una alta velocidad en la transmisión de datos. La fase cambia 180 cuando transmite un 1 y permanece con la misma fase cuando transmite un 0. Cuando un bit de datos es recibido, su fase es comparada con el bit previo y si su fase es la misma, la salida en el decodificador es un cero lógico. Cuando la fase es diferente de , la salida en el decodificador es un uno lógico. D8PSK implica que la diferencia en fase entre el bit actual y el previo es el dato transmitido. Por ejemplo si la diferencia de fase entre el bit actual y el último es radianes, el símbolo es 010, para esto tenemos la Tabla 7.

Tabla 7 Diferencia de Fase en D8PSK

| Diferencia en Fase | Símbolo |
|--------------------|---------|
| 0 | 000 |
| $\pi / 4$ | 001 |
| $\pi / 2$ | 010 |
| $3\pi / 4$ | 011 |
| π | 100 |
| $5\pi / 4$ | 101 |

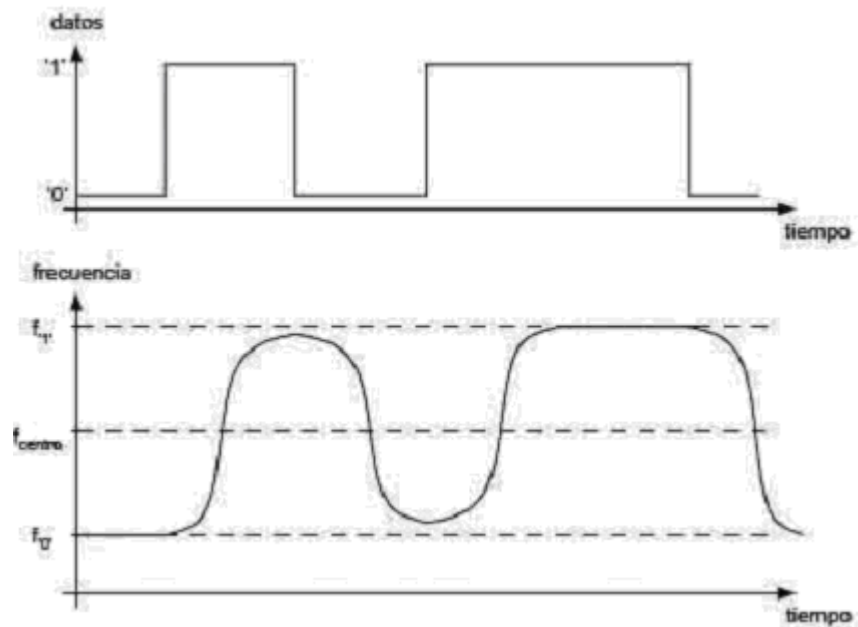
| | |
|------------|-----|
| $3\pi / 2$ | 110 |
| $7\pi / 8$ | 111 |

Fuente: Principle of avionics, Albert Helfrick, página 270.

Este tipo de modulación, presenta un límite de velocidad de transmisión, por ejemplo si se usa una portadora de 2400Hz y el receptor necesita un ciclo completo para reconocer la señal, no se podrán enviar señales digitales de velocidad superior a 2400 BPS.

- GFSK – Gaussian Frequency Shift Keying: GFSK es una versión mejorada de la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK ver Figura 20). La modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana (en inglés Gaussian Frequency Shift Keying o GFSK) es un tipo de modulación donde un 1 lógico es representado mediante una desviación positiva (incremento) de la frecuencia de la onda portadora, y un 0 mediante una desviación negativa (decremento) de la misma (ver Figura 23). En GFSK la información es pasada por un filtro gaussiano antes de modular la señal. Esto se traduce en un espectro de energía más estrecho de la señal modulada, lo cual permite mayores velocidades de transferencia sobre un mismo canal.

Figura 23 Modulación GFSK



Fuente: Enciclopedia libre,
es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_frecuencia_gausiana,
Disponible Junio 2008

4.4.4 ACARS: A principios de los años ochenta fueron desarrollados como tendencia futura en todo el mundo las redes de enlace de datos digitales conocidas como ACARS para aeronaves comerciales y de negocios. Este sistema se diseñó para reducir la carga de trabajo a la tripulación de vuelo, mediante el uso de moderna tecnología informática para el intercambio de mensajes. Esto mejoraría la seguridad y la eficiencia de los viajes aéreos. ACARS es un sistema de enlace de datos para transmisión de pequeños mensajes entre la aeronave y estaciones en tierra por vía radial o satelital. Fue diseñado por ARINC en y lanzado en 1978. El principal propósito de ACARS es proveer un enlace de datos

VHF para dirigir las complejas operaciones de los vuelos comerciales a través del uso del Airline Operational Control (AOC).

Anterior a la introducción del enlace de datos, todas las comunicaciones entre la aeronave y el personal en tierra era realizada usando comunicación por voz. Esta comunicación usaba radios VHF o HF, los cuales fueron mejorados con el uso del SATCOM en el principio de la década de 1990. En un esfuerzo por reducir la carga de trabajo de la tripulación, las aerolíneas introdujeron el ACARS a finales de 1980.

Dentro de la aeronave, el sistema ACARS se encuentra conformado por un computador llamado ACARS Management Unit (MU) y un Control Display Unit (CDU). La MU fue diseñada para enviar y recibir mensajes digitales desde tierra con los radios VHF en tierra. En tierra, el sistema ACARS está compuesto de una red de radios transceivers, los cuales reciben y transmiten mensajes de enlace de datos. Cabe anotar que los sistemas iniciales de ACARS fueron diseñados para el estándar ARINC 597. Luego fue actualizado a principios de 1990 a un estándar ARINC 724, el cual soporta interfases de buses digitales. Posteriormente fue reemplazado al ARINC 724B, el cual fue la característica primaria usada durante 1990 para todas las aeronaves con aviónica digital. Con la introducción de la especificación 724B, la MU fue acoplada con el Multi-Control Display Unit (MCDU) del Flight Management System (FMS) usando el ARINC 739 y para las impresoras el protocolo ARINC 740. La Unidad de Manejo Comunicaciones (CMU) es la sucesora de la (MU), la cual tiene funciones de enlace de datos similares, pero

tiene capacidad adicional para trabajar y soportar más funciones, y usa el ARINC 758.

Tabla 8 Estructura del ACARS

| Estructura del ACARS | |
|--|---|
| Aplicaciones | Control Operacional de la aerolínea (AOC) Servicios de Tráfico Aéreo Limitados |
| Red | ACARS |
| Sub-red (Enlace de Comunicaciones A/T) | VHF – HF -SATCOM |

La sub-red de ACARS opera similar al sistema de correo electrónico, transmitiendo 2400 bps en amplitud modulada (AM) usando Minimum Shift Keying (MSK) a 25 kHz de espaciamiento entre canales¹¹.

- Aplicaciones del ACARS: Para asegurar un manejo óptimo del vuelo desde el despegue hasta el aterrizaje, y el arribo a plataforma, el sistema ACARS da reportes automáticos de posición de la aeronave, usualmente llamado OOOI's (Out, Off, On, y In messages), por sus siglas en inglés. Estos eventos OOOI's fueron determinados por algoritmos en la MU, la cual usa sensores en la aeronave (como en puertas, frenos de parqueo, trenes de aterrizaje) como entradas. Al comienzo de cada fase o evento, la MU transmite un mensaje digital a tierra vía VHF conteniendo la fase de vuelo, la hora a la cual ocurre y otra información como

¹¹ U.S. Department of Commerce. Institute for Telecommunication Sciences. "Requirements for an Air-Ground VHF Data Link for Air Traffic Control Applications." September 1974.

combustible a bordo y/o origen y destino. Esto permite a las computadoras de control en tierra monitorear continuamente la aeronave.

Tabla 9 Eventos OOOI's

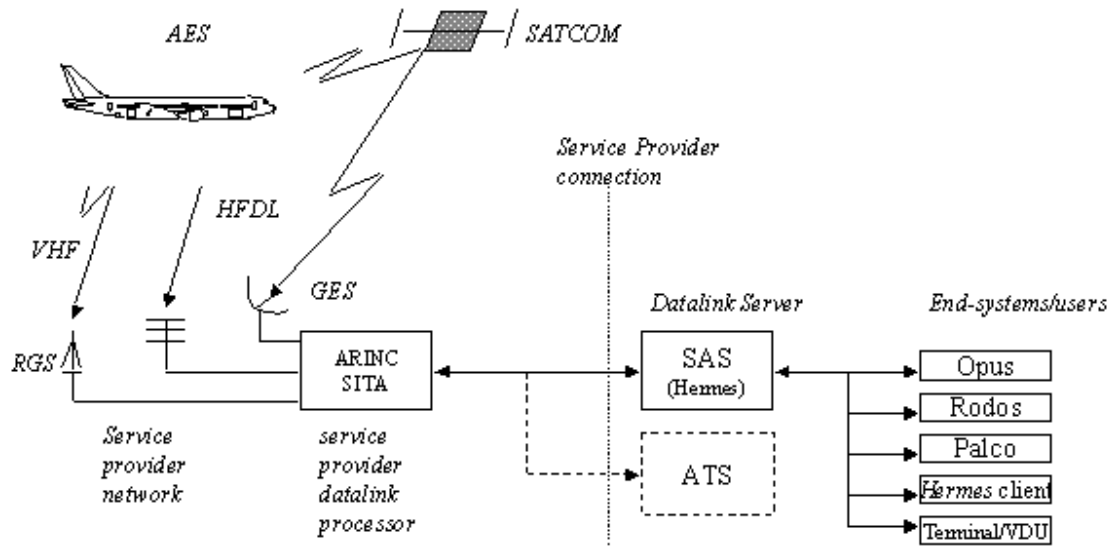
| Evento | Fase | Condición Desencadenada | Contenido del Mensaje | Ejemplo |
|----------------|--|--|-------------------------------------|---|
| Out | Dejando Puerta o Posición de Parqueo | Liberados frenos de parqueo, todas las puertas cerradas | Out time | OUTRP 1865/31 ENZV/EKCH .SE-DNM /OUT 0650 |
| Off | Decolaje | Censores de aire y tierra en L.G. en condición de vuelo | Out time Off time Initial ETA | OFFRP 1350/28 ENGM/ENVA .OY-KKD /OUT 0859/OFF 0906/ETA 0946 |
| On | Touch Down | Censores de aire y tierra en L.G. en condición de tierra | On time | ONRP 1499/31 ESSA/ENGM .SE-DIA /ON 0651 |
| In | Arribo a Puerta o Posición de Parqueo | Frenos de parqueo asegurados, ninguna puerta abierta | On time In time | INRP 0403/31 ESSA/EKCH .OY-KIL /ON 0637/IN 0643 |
| Return-to-gate | Retornar a Puerta después de un evento Out | Un evento detectado después de un evento Out | Return time | RTNRP 0431/31 ESGG/EKCH .LN-ROB /RTN 0522 |
| Touch-and-go | Decolaje inmediatamente después de un aterrizaje | Evento Off detectado después de un evento On | T&G time | TCHRP 9431/29 EKCH/EKCH .SE-DNS /TCH 1412 |

Fuente: Scandinavian flight operations, www.sasflightops.com/, Disponible Marzo 2008

El piloto a bordo puede crear un mensaje y enviarlo vía ACARS a un sistema o usuario en tierra, y viceversa. Los mensajes pueden enviarse automática o manualmente.

- Sub-red VHF: Una red de estaciones en tierra de VHF asegura que la aeronave pueda comunicarse en tiempo real en cualquier lugar del mundo. Como se sabe VHF necesita la línea de vista y provee comunicaciones con tierra basado en transceivers. El rango típico de alcance depende de la altitud de la aeronave, alrededor de 200 millas náuticas.
- Sub-red HF y SATCOM: El SATCOM provee cubrimiento global, con excepción de operación a grandes latitudes (cercana a los polos) .El enlace de datos HF comenzó a instalarse en 1995 y fue completado en 2001. Este no tiene inconvenientes sobre áreas polares y es ofrecido solo por ARINC.

Figura 24 Red ACARS



Fuente: Scandinavian flight operations, www.sasflightops.com/, Disponible Marzo 2008

- Capa del Enlace de datos: La capa del enlace de datos consiste de un protocolo basado en caracteres, el cual limita el principio y el fin del “frame”.

Figura 25 Orientación de caracteres del Frame

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|--------|--------|-----|-----|-----|-----|
| SYN | SYN | STX | Header | Packet | ETX | CRC | SYN | SYN |
|-----|-----|-----|--------|--------|-----|-----|-----|-----|

SYN: Sincroniza inactivo

STX: Comienzo del texto

Header: Información de cabecera

Packet: Datos a ser transmitidos

ETX: Fin del texto

CRC: Control de redundancia cíclica

- Descarga de Datos de Mantenimiento Por ACARS: Fue introducido en 1990 en la interfase entre el Flight Data Acquisition and Management System / Aircraft Condition Monitoring System FDAMS / ACMS y la (MU) del ACARS. Los sistemas FDAMS / ACMS los cuales analizan condiciones de motor, de la aeronave y de rendimiento eran ahora capaces de proveer información de datos en tiempo real a estaciones de mantenimiento en tierra. Esto redujo la necesidad de personal que fuese a descargar esta información de dichos sistemas. Además como estos sistemas son capaces de detectar condiciones de vuelo anormales es posible enviarlas automáticamente a una aerolínea. Reportes detallados de los motores pueden ser también transmitidos vía ACARS. Las aerolíneas usan estos reportes para generar tendencias de las actividades y del comportamiento de las plantas motrices, y así crear o modificar las acciones reparación y mantenimiento
- ACARS extendido a Servicios de Control de Tráfico Aéreo: Desde hace unos años, ACARS fue eventualmente extendido para proveer beneficios para servicios de comunicación en el control de tráfico aéreo. Por ejemplo, las aplicaciones de ACARS dan a los pilotos informes de clima actualizados del lugar de partida como el de llegada y a través de la ruta.

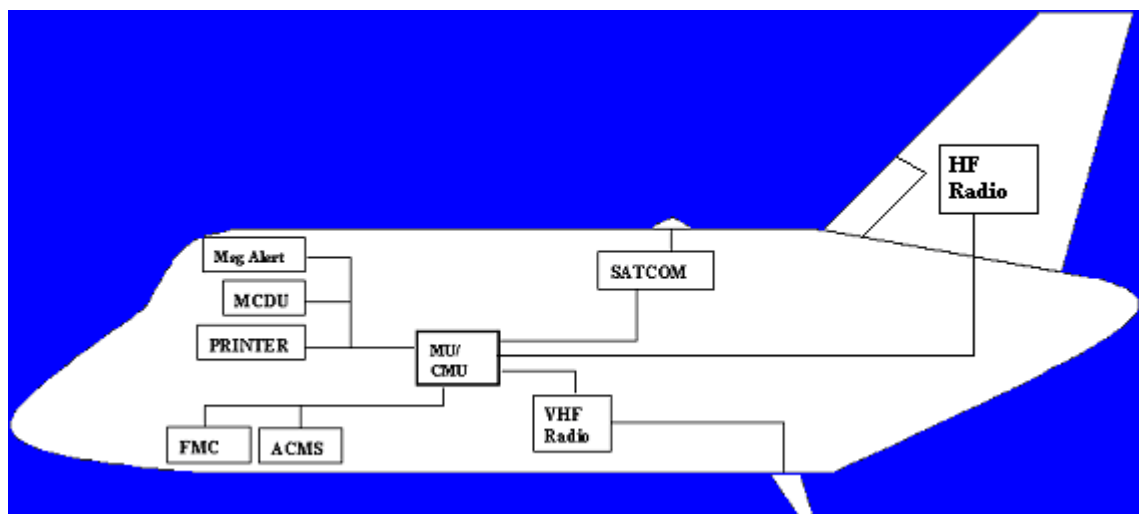
Figura 26 Reporte Típico de Clima METAR

| Reporte Rutinario de Clima Aeronáutico |
|--|
| KEWR NEWARKNJ AD RWYS 04R 22L 04L 22R 11 29 SAO 11200 05012KT 10SM BKN150 BKN250 18/07 A3019 |

Aunque estos reportes son abreviados, proveen información que un piloto puede usar para decidir condiciones de vuelo. También los mensajes de control de tráfico aéreo proveen comunicaciones limitados con tierra basados en texto.

- ACARS a Bordo de la aeronave: Como se ha venido describiendo el ACARS tiene equipamiento a bordo que permite el intercambio de información dentro de la aeronave y su posterior descarga o subida. La Figura 27 ilustra la configuración típica del ACARS y la interconexión con los sistemas de control de la aeronave

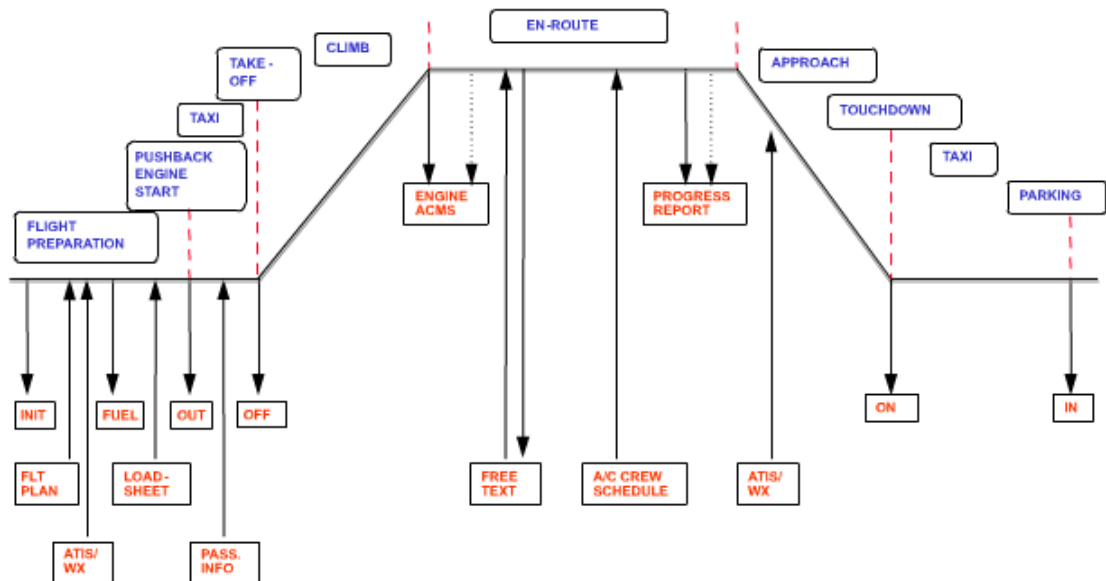
Figura 27 Interconexión de ACARS Abordo



La Figura 28 muestra un ejemplo de cómo el enlace de datos es utilizado por una aerolínea donde se agregan otras funciones de transferencia de información. Esto fue logrado por la implementación del ACARS con el FMS. Esta interfase permitió que planes de vuelo e informes de clima fueran enviados al (MU) del ACARS. Dicha característica dio a las aerolíneas la posibilidad de actualizar el FMS durante el vuelo y evaluar a la tripulación nuevas condiciones del clima o planes de vuelo alternativos. En la siguiente figura se aprecia un ejemplo de todos los tipos de mensajes enviados (Downlink y Uplink) para cada evento y en cada etapa de vuelo.

Figura 28 Mensaje en cada fase de vuelo

Flight Phases



AOC Services

Fuente: Euroncontrol, Link 2000+ Programme, CD ROM

La tendencia actual del ACARS cubre tres servicios de enlace de datos:

- ✓ Pre-Departure Clearance (DCL)
- ✓ Datalink ATIS (D-ATIS)
- ✓ Oceanic Clearance (OCL).

Los respectivos protocolos de aire – tierra se encuentran ahora especificados en los documentos de la EUROCAE ED-85A, ED-89-A y ED-106.¹²

- Limitaciones del ACARS: ACARS puede proveer intercambio de mensajes basado en texto a través de un bloque de caracteres que permiten un máximo de 3520 caracteres por mensaje. YA que un sistema basado en texto. Se encuentra restringido por la presentación del mensaje como por la longitud del mensaje. Así mismo el mensaje es enviado limpiamente sin ninguna codificación lo que representa un riesgo inherente de seguridad.

La sub-red está compuesta de tres elementos mayores: el canal físico, medio de acceso de control de la capa y el enlace de datos sub-capas.

Ya que los requerimientos físicos incluyen un canal exclusivo de 25kHz, este provee solamente enlace de datos a una aeronave en un mismo instante, usando el espectro ineficientemente.

¹² European organisation for the safety of air navigation, www.eurocontrol.int/acars/public/subsite_homepage/homepage.html, Disponible Mayo 2008

En segundo lugar, para detectar si un canal está o no inactivo, el protocolo (CSMA) controla los acceso del medio (el canal). En consecuencia, cuando el volumen de aeronaves en un sector aumenta, la probabilidad de contención de inactividad para el canal aumenta. Esto resulta en una baja disponibilidad del canal.

La aplicación del ACARS se ve gravemente obstaculizada por el protocolo stop-n-wait, el cual limita los caracteres de transmisión de datos a 220. Además, las limitaciones de las sub-redes como posibles riesgos de seguridad, capacidad física del canal y un mal método de acceso múltiple hacen debilitar el sistema en conjunto.¹³

Estas son en resumen las principales limitaciones y desventajas del sistema ACARS:

- ✓ Disponibilidad

La disponibilidad para que exista comunicación con una estación en tierra se encuentra restringida como se mencionó anteriormente a una aeronave a la vez.

- ✓ Confiabilidad

La confiabilidad es pobre ya que la baja rata de bits se traducen una alta probabilidad de interrupciones en la transmisión (debido a la alta probabilidad del “out of range” que es la pérdida de conexión con las estaciones en tierra). La

¹³ [http://www.flttechonline.com/news/Safety\(Feb02\).asp](http://www.flttechonline.com/news/Safety(Feb02).asp), Disponible: Febrero 2008

potencial interferencia incrementa significativamente el riesgo de mensajes perdidos.

✓ Tiempo

Los mensajes son llevados a través de toda la superficie terrestre, aun cuando el receptor y quien envía el mensaje se encuentran a pocas millas. Esta forma de almacenar y enviar afecta gravemente el tiempo de mensajes críticos.

✓ Costos

Los costos son altos debido a la necesidad de mantener las redes, la elección de la tecnología, la mala calidad, el pobre rendimiento y la falta de competencia, entre otras redes.

✓ Seguridad

Todas las anteriores limitaciones llevan inherentes problemas de seguridad del sistema, pero especialmente ACARS es vulnerable ya que los mensajes pueden ser rutinariamente registrados y decodificados por los demás, personas ajenas a la seguridad aérea.¹⁴

4.4.5 VDL - Modo 2: EL VDLM2 fue concebido en la época de 1990 como un método para proveer comunicaciones de datos de alta velocidad a las aeronaves. Desde el principio VDL-2 se destinó a apoyar de una forma importante las

¹⁴ Advanced aviation technology ltd, www.aatl.net/publications/global-AOC.htm Disponible: Marzo 2008

comunicaciones críticas para la seguridad en el control del tráfico aéreo.¹⁵ Ya que los canales disponibles del sistema ACARS en la banda VHF están siendo saturados en todo el mundo, la industria ha optado por el despliegue del VDL Modo 2 para resolver esta saturación, siendo el programa Link 2000+ el que está implementando el CPDLC sobre la red de ATN/VDL Modo 2.

La tecnología VDLM2 se encuentra actualmente desarrollada. EL servicio de ATN/VDLM2 comenzó a ser operacional en los Estados Unidos en septiembre de 2002, en el programa de (CPDLC) en el centro de control de tráfico aéreo en Miami. Además, muchas aerolíneas se encuentran realizando la transición desde ACARS utilizando el enlace de datos A/T VDLM2.¹⁶ La estrategia de ATM Link 2000+ de Eurocontrol empareja las normas de enlace de datos de comunicaciones A/T entre controladores de tráfico aéreo y tripulación en cabina como claves para incrementar la capacidad del ATM. El servicio VDLM2 que presta ARINC es apoyado por más de 200 estaciones en tierra, a lo largo de 48 estados en la unión americana y se encuentra en expansión en Europa y Asia. Las estaciones terrestres de ACARS están siendo reemplazadas con estaciones integrales que soportan tanto el VDLM2 como ACARS. Además ARINC está haciendo esta transición al VDLM2 más fácil. Para aeronaves en operación, ARINC provee el servicio ACARS sobre AVLC (los operadores pueden continuar usando las

¹⁵ PARK AIR SYSTEMS, www.parkairsystems.com/index.asp?id=257 Disponible: Mayo 2008

¹⁶ ARINC productos y servicios, http://www.arinc.com/products/voice_data_comm/vdlm2.html Disponible: Mayo 2008

aplicaciones del ACARS sobre la infraestructura del VDLM2 cuando usan un servicio AOA, estos solo requieren realizar pequeños cambios en aviónica¹⁷ En el control de enlace VHF de la aviación (AVLC), las principales funciones son:

- ✓ Detectar y recuperarse de la gran mayoría de los errores de transmisión
- ✓ Identificar la fuente y destino de cada mensaje
- ✓ Organizar y dirigir el enlace de datos

El AVLC es también una implementación del protocolo (HDLC) "High Level Data Link Control". Este da una estructura a la cadena de bits de datos "data bitstring" de manera que:

- ✓ Cada ráfaga puede organizarse en uno o más "frames", cada uno conteniendo datos del usuario o información de control.
 - ✓ La fuente y destino de cada frame puede ser fácilmente identificados
 - ✓ Frames perdidos pueden ser fácilmente identificados y retransmitidos.¹⁸
- Estandarización: La tarea de establecer la integridad del enlace de datos en el Modo 2 recae sobre la Aeronautical Mobile Communications Panel (AMCP) de la OACI. La (AMCP) trabajó en conjunto con otros cuerpos internacionales de investigación para probar, demostrar y verificar la solidez del enlace de datos VDL-2. Una vez demostrado, el VDLM2 fue adoptado por todos los miembros de la OACI, y consagrado dentro del Anexo 10, el cual provee guías para la

¹⁷ IBID

¹⁸ European organisation for the safety of air navigation, www.eurocontrol.int/vdl2/public/standard_page/System.html, Disponible Mayo 2008

implementación de los sistemas de comunicación en el mundo. La velocidad y flexibilidad son muy importantes, sin embargo para que el VDLM2 pueda ser aplicado al servicio de ATC la confiabilidad y disponibilidad llegan a ser clave para asegurar que los mensajes de datos son entregados rápida y precisamente.¹⁹ Actualmente la FAA ha emitido una orden técnica estándar (TSO-C160) para el VDLM2 en la cual se dan los requerimientos para una autorización o carta de aprobación de diseño para fabricantes. Nombra el estándar RTCA/DO-254, para diseño de hardware y el estándar RTCA/DO-178B/, EUROCAE/ED-12B para software. Además el RTCA/DO-281A, Minimum Operational Performance Standards for Aircraft VDL Mode 2 Physical, Link, and Network Layer. El TSO-C160 puede encontrarse en listado de anexos al final de este documento.

- Descripción del Sistema: El sistema VDL Modo 2 es una de las subredes A/T que puede ser usada para soportar comunicaciones de datos a través de la Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas (ATN).²⁰

Todos los controladores de tráfico aéreo usan el VDLM2 para comunicar a la aeronave por medio del (CPDLC). Este usa una serie de instrucciones y respuestas predefinidas que permiten al controlador comunicarse segura y eficientemente. Tradicionalmente el controlador instruye al piloto usando voz,

¹⁹ PARK AIR SYSTEMS, www.parkairsystems.com/index.asp?id=257 , Disponible: Mayo 2008

²⁰ European organisation for the safety of air navigation, www.eurocontrol.int/vdl2/public/standard_page/System.html , Disponible: Mayo 2008

entonces el piloto lee la instrucción como confirmación de entendimiento del mensaje. Aun para una simple instrucción esto puede tomar 20 segundos o más. Usando VDLM2 esta misma instrucción puede ser entregada y confirmada en unos pocos milisegundos. Además el piloto y el controlador tienen un historial permanente de todos los mensajes dentro de su sistema.²¹

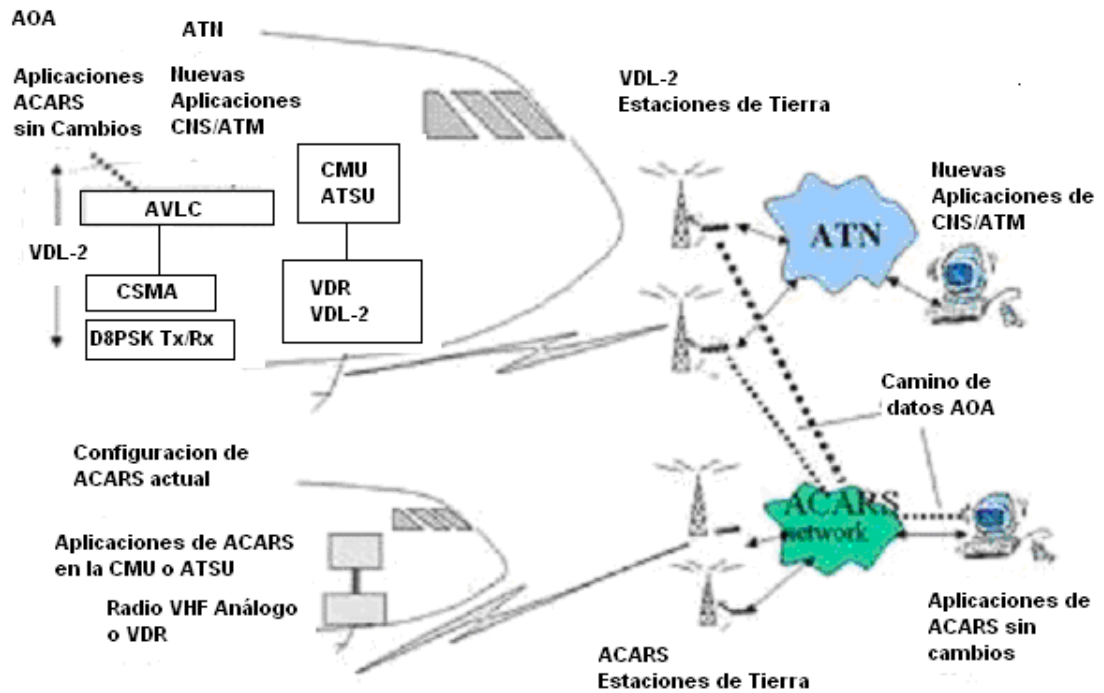
El CPDLC inicialmente proveía transferencia de comunicación de voz, contacto inicial, establecimiento de altímetro, y comunicaciones limitadas basadas en texto entre el controlador y pilotos.

La Figura 29 muestra las terminales actuales del ACARS, la red de ACARS y la implementación a bordo. También muestra en enlace de datos implementado sobre ATN/VDLM2. Con el inicial VDLM2/AOA, la transmisión de A/T por VDLM2 (con nuevos radios a bordo y en tierra) reemplaza las transmisiones del ACARS pero otros elementos del mismo permanecen sin cambio.²²

²¹ PARK AIR SYSTEMS, <http://www.parkairsystems.com/index.asp?id=257>, Disponible: Mayo 2008

²² European organisation for the safety of air navigation, www.eurocontrol.int/vdl2/public/standard_page/System.html, Disponible Mayo 2008

Figura 29 VDLM2-ACARS



Fuente: European organisation for the safety of air navigation, www.eurocontrol.int/vdl2/public/standard_page/System.html Mayo 2008

ACARS es “character oriented” lo que significa que se comunica de una manera similar a un fax, y solo es capaz de transmitir letras y números. Mientras que el VDLM2 es "bit oriented" lo que permite la transferencia de texto e imágenes que conducen a un servicio de alta calidad similar al Internet.²³

- Modulación: VDLM2 utiliza la modulación D8PSK (Differentially 8 Phase Shift Keying) y opera a un razón de 31.5 kbps. La disponibilidad de 8 estados quiere

²³ <http://www.parkairsystems.com/index.asp?id=257> Disponible: Mayo 2008

decir que cada símbolo puede representar 3 bits de datos. Entonces la razón de datos de símbolos es 10.5 kbps, dando una red de razón de bits que es 3 veces mas.

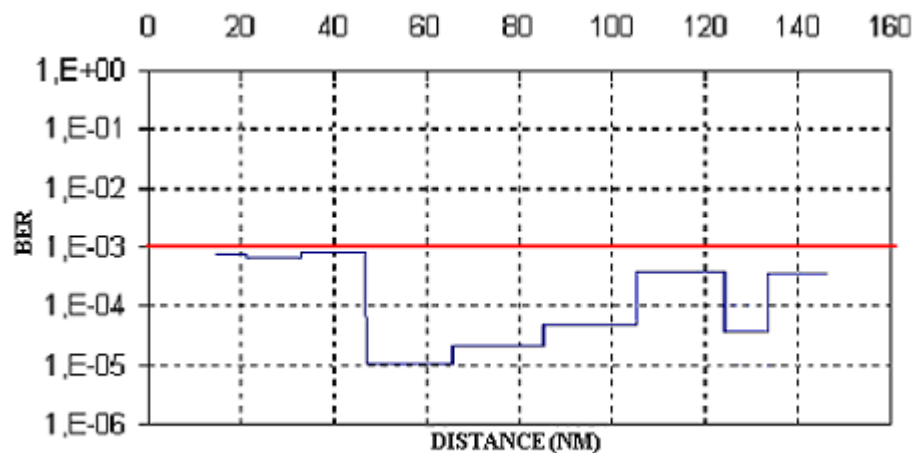
- Corrección del Error: Ya que durante la transmisión de datos pueden presentarse errores en la secuencia como se muestra en la Tabla 10, y en la Figura 30 donde se muestra la tasa de error de bits a un nivel de vuelo de 24.000 pies para diferentes distancias de transmisión, es necesario presentar un algoritmo que puede corregir dicho error.

Tabla 10. Duración de Frame vs. VER

| BER | Número de Bits | Número de Frames | Duración |
|-------------------|----------------|------------------|-------------|
| $1 \cdot 10^{-6}$ | $1 \cdot 10^7$ | 5020 | 1 hora |
| $1 \cdot 10^{-5}$ | $1 \cdot 10^6$ | 502 | 6 minutos |
| $1 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^5$ | 51 | 36 segundos |

Fuente: VDL Mode 2 Physical layer validation report, Pagina 15, Eurocontrol

Figura 30. Bit Error Rate VDLM2



Fuente: VDL Mode 2 Physical layer validation report, Pagina 22, Eurocontrol

Para poder mejorar el rendimiento del canal efectivo, a través de la reducción del número de errores, es aplicada la codificación FEC (Forward Error Correction) basada en los códigos Reed-Solomon.

EL FEC es un tipo de mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original. Se utiliza en sistemas sin retorno o sistemas en tiempo real donde no se puede esperar a la retransmisión para mostrar los datos. La posibilidad de corregir errores se consigue añadiendo al mensaje original unos bits de redundancia. La fuente digital envía la secuencia de datos al codificador, encargado de añadir dichos bits de redundancia. A la salida del codificador obtenemos la denominada palabra código. Esta palabra código es enviada al receptor y éste, mediante el decodificador adecuado y aplicando los algoritmos de corrección de errores, obtendrá la secuencia de datos original. FEC reduce el número de transmisiones de errores, así como los requisitos de potencia de los sistemas de comunicación e incrementa la efectividad de los mismos evitando la necesidad del reenvío de los mensajes dañados durante la transmisión²⁴

La frecuencia asignada es 136.975 MHz, en la parte superior del espectro VHF de comunicaciones aeronáuticas.

²⁴ Enciclopedia libre, es.wikipedia.org/wiki/FEC, Disponible Mayo 2008

- Control de Acceso del Medio: El Control de Acceso del Medio del VDLM2 implementa el algoritmo CSMA que responde equitativamente a todas las estaciones, y da la oportunidad de transmitir al mismo tiempo de maximizar el rendimiento del sistema, reducir al mínimo las demoras de tránsito, y minimizar las colisiones. Se trata de un protocolo en el que la radio "escucha" el canal para determinar si está inactivo. Si es así, la radio transmite con una cierta probabilidad aleatoria "p" y se mantiene en silencio o con una probabilidad "1-p". Si la radio no transmite, se espera un tiempo aleatorio antes de escuchar de nuevo al canal y repetir el proceso. El algoritmo CSMA ofrece un acceso equitativo a todas las estaciones, lo que significa que no existe una priorización de tráfico de datos.²⁵

- Tiempo de Retraso "Delay Time": El retraso de transferencia del VDLM2 no debe ser más grande que 3.5 segundos para el 95% (distribución acumulativa). Hay al menos cinco componentes básicas que comprenden el total tiempo de de retraso (D) de un paquete de datos en un contexto punto a punto. Estos pueden verse en la Tabla 11, siendo el retraso de acceso el de mayor importancia.²⁶

²⁵ European organisation for the safety of air navigation, www.eurocontrol.int/vdl2/public/standard_page/System.html Disponible Mayo 2008

²⁶ RTCA/DO-224A, September 13, 2000, Página 310

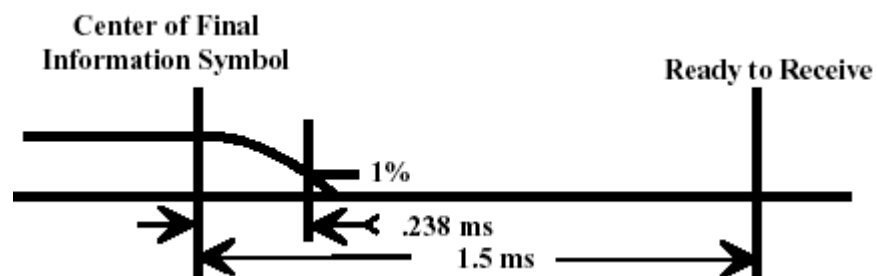
Tabla 11. Componentes del Tiempo de Retraso VDLM2

| <u>Delay Component</u> | | <u>Value (95%)</u> |
|------------------------|--|--------------------|
| D_S | Receive/Transmit turnaround ¹ | 1 ms |
| D_T | Packet transmission time ² | 250 ms |
| D_R | Propagation (range) delay ³ | 1.3 ms |
| D_P | Processing delays ⁴ | 100 ms |
| D_A | Access delays ⁵ | 3000 ms |

Fuente: RTCA/DO-224A, September 13, 2000, Página 310

1. D_S Una transmisión será capaz de recibir y demodular una señal de entrada con rendimiento normal, 1.5 ms después de transmitir el ultimo símbolo. (Ver 2. Figura 31)
2. D_T es determinado por el cociente entre la longitud del paquete (bits) y la razón de información del canal (bits/seg.)
3. D_R es expresado en este caso para un rango de 200 nm entre el transmisor y receptor.
4. D_P incluye demoras estimadas debido a funciones de proceso relevantes.
5. D_A incluye los efectos de colisiones de paquetes en el canal de transmisión.

Figura 31. D_S Turnaround Time



Fuente: RTCA/DO-224A, September 13, 2000, Página 70

- Análisis detallado del VDL Modo 2

Tabla 12. Análisis técnico VDL Modo 2

| 1. Característica Física de la Radio Frecuencia | |
|---|--|
| | Requiere 25 kHz del espectro |
| | Relación requerida señal / ruido = 26 a 27 dB ²⁷ |
| | Numero de bandas de guardias: (2) |
| 2. Característica de la Capa Física del Protocolo (OSI) | |
| | Frecuencia Modulada Diferencial Eight -Phase Shift Key (D8PSK) |
| | Relación de datos |
| | ➤ 31,500 bits por segundo por 25 kHz de canal |
| | ➤ 10,500 símbolos por Segundo |
| 3. Control de Acceso del Medio (MAC) – Carrier Sense Multiple Access | |
| | ✓ El protocolo (CSMA) controla el acceso entre la aeronave y la estación en tierra. |
| | ✓ Data Link Sub Capa: Conexión “Go-back-N-Oriented” con paquetes de más de 2048 octetos. ²⁸ |
| | ✓ “Bit oriented” es 10 veces mas rápida la transmisión que el ACARS. ²⁹ |

²⁷ “VDL 4 radio design”. Sectra Corporation. Junio de 2000

²⁸ Roy, Aloke. “ACARS to VDL Transition Plan.” Airline Electronics Engineering Consortium Data Link User Forum. Enero 28, 1998, Página 5.

²⁹ “Migration to VDL – Mode 2.” Data link Sub layer group.

www.boeing.com/commercial/caft/reference/meetings/98_03_12/Vaughn.pdf, Disponible 2008

El protocolo Go-Back-N Oriented es más eficiente que el protocolo Stop-and-wait ya que el primero envía o recibe paquetes de información durante el tiempo en el cual el Stop-and-wait no lo hace en cada reconocimiento de estos.

4.4.6 VDL- Modo 3

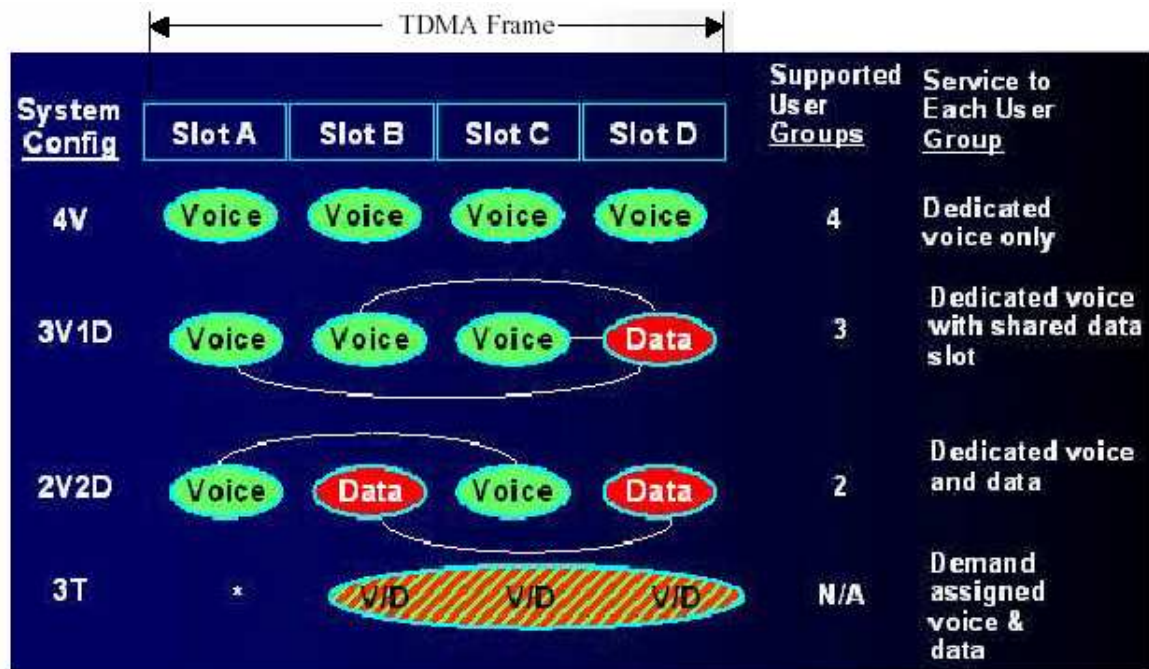
- Estandarización: La OACI reconoció la necesidad por la estandarización de los nuevos sistemas de VHF Data Link y estableció estándares para el VDLM3. Al igual que el VDLM2 una vez demostrado, el VDLM3 fue adoptado por todos los miembros de la OACI, y consagrado en los SARP's aprobados por la AMCP/7 a principios del año 2000, los cuales fueron inicialmente propuestos por la FAA en 1994. Actualmente hay una TSO para el VDLM3 (TSO-C163) el cual nombra los estándares RTCA/DO-271B, "Minimum Operational Performance Standards for Aircraft VDL Mode 3 Transceiver Operating in the Frequency Range 117.975 - 137.000 MHz," el RTCA/DO-160D, "Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment," y RTCA/DO-178B, DO-224A. La TSO-C163 se encuentra en el listado de anexos al final de este documento.
- Descripción del Sistema: Como parte de su Sistema de Nueva Generación de Comunicaciones (NEXCOM) la FAA implementará el VDLM3 dentro de su espacio aéreo. Cuando se complete alrededor de 46000 radios estarán instalados. Además de reducir la congestión de frecuencias, otros beneficios que el VDLM3

traerá serán menos interferencia, control de acceso a canales, e identificador de llamada.

- Modulación: El VDLM3 comparte el mismo esquema de modulación que el VDLM2, usando el Differential Eight Phase Shift Keying (D8PSK). Los estándares de OACI para VDLM3 se encuentran validados y se trabaja en validación operacional y la implementación está en marcha.³⁰
- Control de Acceso del Medio: El VDL Modo 3 (VDLM3) soporta 4 canales discretos usando el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA). Este proceso divide la transmisión en 4 espacios repetitivos idénticos “time slots”. Cada uno de los 4 time slots puede ser usado para datos o para voz digital, lo que permite a cuatro controladores comunicarse con cuatro aeronaves usando una sola frecuencia. En este concepto la intención había sido la de asignar los 4 canales de TDMA como 2 para datos y 2 de voz digitalizada. En el sistema, sin embargo, está configuración permite modificarse para adaptarse a las necesidades dinámicas en el lugar y de la hora de que se trate. En Figura 32 puede apreciarse las configuraciones posibles para voz y datos en cada frame.

³⁰ PARK AIR SYSTEMS, www.parkairsystems.com/index.asp?id=274 , Disponible Mayo 2008

Figura 32. Configuración de Voz y Datos VDLM3



Fuente: NASA, Glenn Research Center, Modeling and Simulation Development Of Very High Frequency Digital Link Mode 3, Abril 29 - Mayo 2, 2002

- Tiempo de Retraso "Delay Time": El retraso del sistema en el VDLM3 está definido separadamente por voz y datos. Para datos con mensajes de alta prioridad de 192 bits o menos serán entregados dentro de un segundo con una probabilidad de 0.95 y entregados dentro de 5 segundos con una probabilidad de 0.999. Para voz el retraso total será de menos de 236 ms. En la Tabla 13 y Tabla 14 puede apreciarse las componentes del retraso de en el peor de los casos para voz y datos.

Tabla 13 Componentes del Tiempo de Retraso Para Voz VDLM3

| <u>Delay component</u> | <u>Value (worst case)</u> |
|-------------------------------|---------------------------|
| Vocoder sampling | 20 ms |
| Vocoder analysis | 40 ms |
| TDMA framing and transmission | 105 ms |
| Vocoder synthesis | 20 ms |
| Other processing delays | 15 ms |

Fuente: RTCA/DO-224A, September 13, 2000, Página 311

Tabla 14 Componentes del Tiempo de Retraso Para Datos VDLM3

| <u>Delay Component</u> | <u>Downlink Value (95%)</u> | <u>Uplink Value (95%)</u> |
|--|-----------------------------|---------------------------|
| D _Q Queuing delay ¹ (less than 80% utilization) | 3,528 ms | 528 ms |
| D _P Processing delay ² | 10 ms | 10 ms |
| D _A Access delay ³ | 1,500 ms | 0 ms |
| D _S Receive/Transmit turnaround ⁴ | 2 ms | 2 ms |
| D _T Packet transmission time ⁵ (576 bit/packet) | 250 ms | 250 ms |
| D _R Propagation delay ⁶ | 2 ms | 2 ms |

Fuente: RTCA/DO-224A, September 13, 2000, Página 312

1. D_Q (paquete esperando a ser procesado) es una función de la razón entre el tiempo de arribo del paquete y la suma de las componentes de tiempo listadas abajo.

2. D_P incluye estimativos por demoras debido a funciones de proceso relevantes.

3. D_A incluye los efectos de colisiones entre paquetes de información en el canal de transmisión.

4. DS Una transmisión será capaz de recibir y demodular una señal de entrada con rendimiento normal, 1.5 ms después de transmitir el ultimo símbolo
5. DT es determinado por el cociente entre la longitud del paquete (bits) y la razón de información del canal (bits/seg.)
6. DR es expresado en este caso para un rango de 200 nm entre el transmisor y receptor.³¹

- Análisis detallado del VDL Modo 3

Tabla 15 Características Técnicas VDL Modo 3

| 1. Característica Física de la Radio Frecuencia | |
|---|--|
| | Requiere 25 kHz del espectro |
| | Relación requerida señal / ruido = 26 dB |
| | Numero de bandas de guardias: (2) |
| 2. Característica de la Capa Física del Protocolo (OSI) | |
| | Frecuencia Modulada Diferencial Eight -Phase Shift Key (D8PSK) |
| | Relación de datos |
| | ➤ 16.500 bits por segundo por 25 kHz de canal |
| | ➤ 16,500 símbolos por Segundo |
| | Relación de Voz |

³¹ RTCA/DO-224A, September 13, 2000, Página 312

| | |
|---|---|
| | ➤ 19,200 bits por segundo por 25 kHz de canal |
| 3. Control de Acceso del Medio (MAC) – Carrier Sense Multiple Access | |
| | El protocolo (CSMA) controla comunicaciones de datos entre la aeronave y la estación en tierra. |
| | El protocolo (TDMA) controla comunicaciones de datos y voz entre la aeronave y la estación en tierra. |
| | Bit Orientado |

4.4.7 VDL- Modo 4

- Estandarización: El VDL modo 4 es una tecnología de enlace de datos en VHF, estandarizado por OACI, (VDL SARP's Anexo 10 Volumen 3, Parte I) además en el manual Doc9816 (AN/448) de VDL publicado por la OACI recientemente el cual comprende la Parte I (Manual de Implementación) y la Parte II (Manual Técnico). Las actividades de Eurocontrol en relación al VDL Modo 4 se encuentran enfocadas en contribuir al desarrollo del sistema VDL Modo 4 para Vigilancia y Servicios de Comunicaciones, y proveer la información necesaria para una decisión de implementación.

El VDL Modo 4 actualmente es considerado por Eurocontrol en los dos siguientes dominios:

Dominio de Comunicaciones (COM), como posible candidato para soportar comunicaciones punto a punto de enlace de datos con una alta exigencia de calidad (prioridad, tiempo crítico etc.) y Dominio de Vigilancia (SUR) como un candidato de enlace de datos para ADS-B.

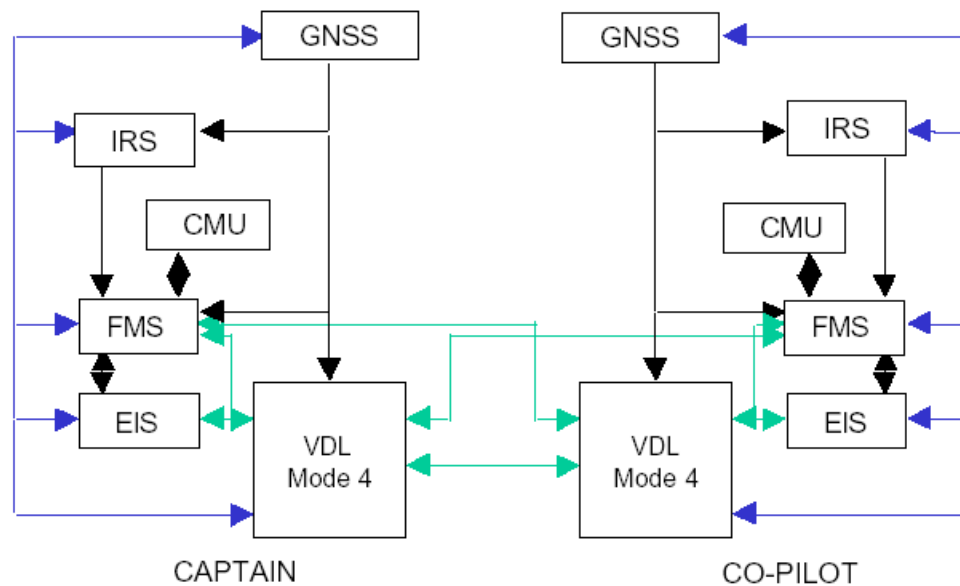
La estrategia de comunicaciones dentro del ATM describe al VDL Modo 4 como un posible elemento futuro del Servicio de Red Móvil (MNS), la infraestructura de comunicaciones entre móviles (aeronaves y vehículos) y entre móviles y elementos en tierra, y diseñado para soportar servicios de comunicaciones digitales CNS/ATM incluyendo tiempo y seguridad en las aplicaciones críticas, así como comunicaciones punto a punto.

- Descripción del sistema: Durante un vuelo, el sistema de una aeronave con VDL Modo 4 necesita comunicarse con un número diferente de estaciones en tierra, así como con otras aeronaves dentro de su localidad. Una vez esas estaciones en tierra y aeronaves se mueven más allá del horizonte visible por la aeronave, no hay más interés en estas y el sistema necesita reconfigurarse dinámicamente comunicándose con los nuevos vecinos a lo largo del camino. Los radios de VDL Modo 4 consisten de al menos 2 receptores y un transmisor, ya que el receptor adicional es usado como un canal de señalización para instruir los radios en cambio inminentes. Mientras el VDL Modo 4 ha sido diseñado para cumplir con las aplicaciones de demanda del ADS-B, este también puede ser usado para comunicaciones A/A y A/T, y adicionalmente puede utilizarse como un

enlace de datos hacia la aeronave (uplink) para alimentar los sistemas de navegación de la aeronave. En teoría, por ahora, este puede soportar todos los requerimientos de comunicaciones, navegación y vigilancia, según lo previsto por la OACI para el futuro³²

El VDL Modo 4 opera usando uno o más canales estándares de comunicaciones de 25 kHz en VHF. Es capaz de proveer comunicación y vigilancia digital y se caracteriza por su habilidad para intercambiar mensajes repetitivos cortos por medio de una serie de protocolos. En la Figura 33 puede observarse la configuración típica para la instalación de los transceivers con capacidad VDLM4

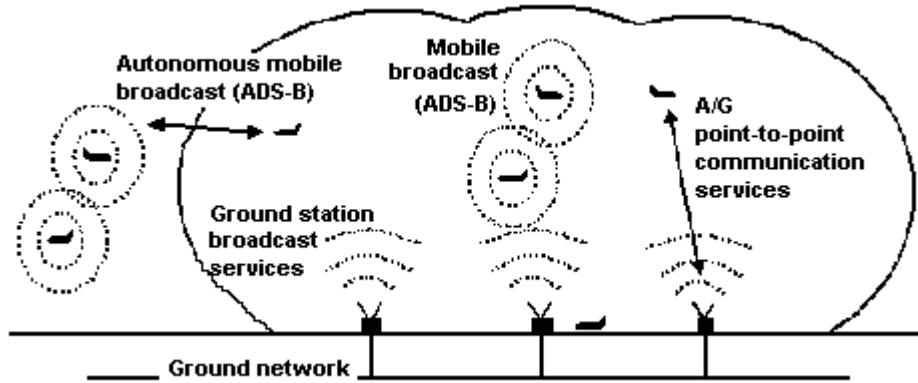
Figura 33. Configuración VDLM4



Fuente: Documento de Eurocontrol - VDL4_Manual_Implementation_Chapter3, Disponible en: www.eurocontrol.int/vdl4/public/standard_page/standards.html

³² PARK AIR SYSTEMS, www.parkairsystems.com/index.asp?id=288, Disponible Mayo 2008

Figura 34 Comunicaciones en VDL Modo 4

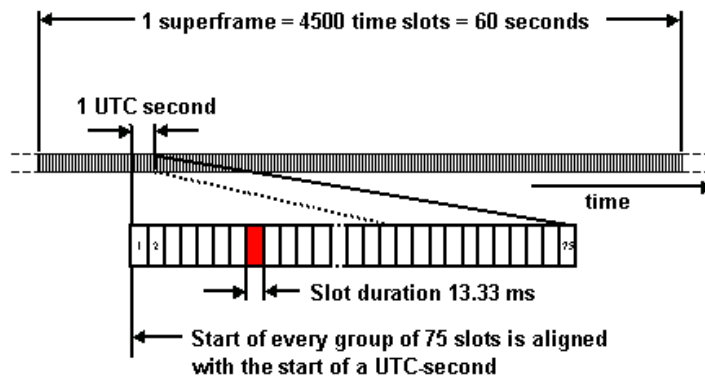


Fuente: European organisation for the safety of air navigation, www.eurocontrol.int/vdl4/public/standard_page/systemdescription.html Mayo 2008

Los servicios específicos del VDL Modo 4 incluyen comunicaciones de radiodifusión y punto a punto para intercambio de datos críticos y también constituyen una subred de ATN y provee servicios completos para esta, como puede verse en la

Figura 34.

Figura 35 Time slots en VDL Modo 4



Fuente: European organisation for the safety of air navigation,
www.eurocontrol.int/vdl4/public/standard_page/systemdescription.html Mayo 2008

El VDL Modo 4 está previsto para operar en canales específicos, llamados Global Signalling Channels (GSCs), los cuales deben ser asignados en todo el mundo. En espacios aéreos de alta densidad de tráfico, los (GSCs) serán reemplazados por los Regional Signalling Channels (RSCs), o por los Local Signalling Channels (LSCs). Los canales GSC serán usados por todas las estaciones participantes y por las estaciones de tierra para difundir información del Directory of Services (DoS), el cual anuncia los servicios disponibles.³³

- Modulación: El esquema de modulación del VDL Modo 4 usa el esquema Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) y transmite a una razón de 19.2 kb/s, con 4500 slots de tiempo por minuto. Lo que quiere decir que cada spot tiene una duración de 13.33 milisegundos, con 75 slots por segundo como puede verse en la Figura 35. Cada slot se encuentra disponible para transmitir o recibir. Un sistema de gestión autónoma asegura que incluso en el más concurrido espacio aéreo todas las aeronaves que pueden transmitir y recibir datos de manera oportuna.
- Control de Acceso del Medio: EL VDL Modo 4 emplea el esquema time division multiple access (TDMA). Como un esquema divide el canal de comunicaciones en

³³European organisation for the safety of air navigation,
www.eurocontrol.int/vdl4/public/standard_page/systemdescription.html Disponible Mayo 2008

'time-slots', cada uno de los cuales puede ser usado por una unidad de radio para transmisión de datos. Ya que el acceso a los slots es organizado el VDL Modo 4 se basa en el concepto Self-Organising TDMA, mejor conocido como (STDMA). Es decir cada estación es responsable de la selección previa y la reserva de los slots que desea utilizar. En el VDL Modo 4, todos los slots están sincronizados con tiempo UTC, normalmente proporcionado por un receptor GNSS. Esto con el fin de proporcionar una coordinación global entre todas las estaciones participantes El concepto de (STDMA) permite al VDL Modo 4 operar eficientemente sin una estación coordinadora central, eliminando así la necesidad por infraestructura en tierra. Las estaciones de tierra pueden sin embargo servir para proveer otras aplicaciones ³⁴

- Análisis detallado del VDL Modo 4

Tabla 16 Características Técnicas VDL Modo 4

| 1. Característica Física de la Radio Frecuencia | |
|---|--|
| | Requiere 25 kHz del espectro |
| | Relación requerida señal / ruido = 10 dB |
| | Numero de bandas de guardias: (0) |
| 2. Característica de la Capa Física del Protocolo (OSI) | |

³⁴ European organisation for the safety of air navigation, www.eurocontrol.int/vdl4/public/standard_page/systemdescription.html Disponible Mayo 2008

| | |
|--|---|
| | Frequency Modulada Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) |
| | Relación de datos |
| | ➤ 19.200 bits por segundo por 25 kHz de canal |
| | ➤ 10,500 símbolos por Segundo |
| | 3. Control de Acceso del Medio (MAC) – Carrier Sense Multiple Access |
| | El protocolo (STDMA) controla acceso de comunicaciones entre la aeronave y la estación en tierra. El sistema divide el canal de comunicación en “time-slots” los cuales pueden ser usados cada uno, por un radio en una aeronave o en tierra para transmisión de datos. |
| | Bit Orientado |
| | Habilidad para proveer servicio de calidad |

4.5 ANALISIS ECONOMICO DE LOS SISTEMAS DE ENLACE DE DATOS PARA COMUNICACIONES AERONAUTICAS

El análisis económico para la instalación de cualquiera de los modos de VDL en Colombia debe dividirse en dos grandes áreas, ya que el impacto en el cambio de tecnología de un sistema que compromete la seguridad en la aviación civil debe tratar de mitigarse. Estos análisis deben realizarse tanto en tierra como a bordo de las aeronaves, ya que para una buena implementación del nuevo sistema de comunicaciones debe realizarse un estudio a profundidad en cada caso, es decir

para cada tipo de aeronave, y para cada instalación en tierra que requiera de nuevos equipos de recepción y transmisión.

4.5.1 Estudio económico a bordo de la aeronave

- Tecnología de Enlace de Datos en Colombia: Para conocer el estado de los equipos de Aviónica que poseen las aerolíneas colombianas se escogieron algunas aerolíneas importantes para obtener la situación técnica de estas frente a las nuevas tecnologías, saber si tienen instalado en su flota de aeronaves algún sistema digital, que tecnologías digitales usa, que beneficios le ha traído a la empresa, cuantas aeronaves están equipadas con esta tecnología, que conocimiento se tiene de la tecnología DATA Link, entre otros, lo que permitirá realizar el estudio de viabilidad técnica.

El método más sencillo para realizar esta práctica fue realizar una encuesta con la cual se pretendía obtener los resultados especificados anteriormente, el modelo manejado de la encuesta es el siguiente:

Tabla 17. Formato de Encuesta

| ¿Qué modelos de aeronaves posee actualmente su empresa? | X | Cuántas Aeronaves | Poseen FMS Señalar con una X | Poseen EFIS/ED Señalar con una X | Cuáles poseen Radios Digitales ARINC 750? Señalar con una X |
|---|--------------------------|-------------------|------------------------------|----------------------------------|---|
| Boeing 767-300ER | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Boeing 767-200ER | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Boeing 757-200 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Boeing 727-100 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Boeing 727-200 | <input type="checkbox"/> | | | | |

| | | | | | |
|--|---|--------------------------------|---|--|--|
| Fokker – 100 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Fokker – 50 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Airbus - A320 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Embraer 190 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Embrear ERJ-145ER | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Embrear ERJ-170 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Mc Donnell Douglas DC-9 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Mc Donnell Douglas MD-83 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Mc Donnell Douglas MD-82 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| De Havilland Dash 8-100 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| De Havilland Dash 8-200 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| De Havilland Dash 8-300 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| Dornier 328 | <input type="checkbox"/> | | | | |
| ¿Su empresa piensa traer otro modelo de aeronave para poner en servicio en el futuro? | Nueva <input type="checkbox"/> | Usada <input type="checkbox"/> | ¿Que modelos de aeronaves? _____ _____ _____ | | |
| ¿Hay actualmente instalado en la flota de su empresa un sistema de enlace de datos digital para transmisión de información A/A o A/T? | <input type="checkbox"/> Si | | <input type="checkbox"/> No | | |
| ¿Qué tipo de tecnología de enlace de datos digital posee? | <input type="checkbox"/> ACARS <input type="checkbox"/> VDLM2 <input type="checkbox"/> VDLM3 <input type="checkbox"/> VDLM4 <input type="checkbox"/> ADS-B Otros: _____ _____ | | | | |
| ¿La tecnología de enlace de datos digital que usa actualmente ha traído beneficios tanto a nivel técnico como económico en su empresa? | <input type="checkbox"/> Si | <input type="checkbox"/> No | <input type="checkbox"/> N/A | | |

| | | |
|---|--|------------------------------|
| ¿Qué porcentaje de la flota posee este tipo de tecnología de enlace de datos digital, ya instalado? | % | <input type="checkbox"/> N/A |
| ¿Tiene conocimiento de los beneficios que trae la implementación de la tecnología Data Link? | <input type="checkbox"/> Si ¿Cuáles? _____ _____ | <input type="checkbox"/> No |
| ¿Estaría su empresa dispuesta a instalar sistemas digitales de transmisión de datos CNS (Com/Nav/Surv). | <input type="checkbox"/> No ¿Por qué? _____ _____ | <input type="checkbox"/> Si |
| ¿Prefiere continuar usando los sistemas que posee actualmente en su flota? | <input type="checkbox"/> Si ¿Por qué? _____ _____ _____ | <input type="checkbox"/> No |
| ¿Qué valor en dólares estaría dispuesto a pagar su empresa para la instalación de un sistema digital de enlace de datos, teniendo en cuenta los beneficios que dicha tecnología otorga? | Instalación Por Aeronave <input type="checkbox"/> Menos de \$100.000 <input type="checkbox"/> Mas de \$100.000 | |

Las empresas a las cuales se les realizó la encuesta fueron: Avianca, LAS, Satena, Aires, y AeroRepública.

Tabla 18. Resultados de la Encuesta

| Pregunta | Avianca | LAS | Satena | Aires | AeroRepública |
|----------|---------|-----|--------|-------|---------------|
|----------|---------|-----|--------|-------|---------------|

| | | | | | |
|---|--|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Hay actualmente instalado en la flota de su empresa un sistema de enlace de datos digital para transmisión de información A/A o A/T? | SI | NO | NO | NO | NO |
| Qué tipo de tecnología de enlace de datos digital posee? | ACARS | No posee | No posee | No posee | No posee |
| La tecnología de enlace de datos digital que usa actualmente ha traído beneficios tanto a nivel técnico como económico en su empresa? | SI | No aplica | No aplica | No aplica | No aplica |
| ¿Qué porcentaje de la flota posee este tipo de tecnología de enlace de datos digital, ya instalado? | 30% | No aplica | No aplica | No aplica | No aplica |
| Tiene conocimiento de los beneficios que trae la implementación de la tecnología Data Link? | Seguimiento en tiempo real. Mejora en costos operacionales. | Disminución carga de trabajo para piloto/controlador. Reducción en los errores de comunicación Controlador/piloto. | NO | NO | NO |
| Estaría su empresa dispuesta a instalar sistemas digitales de transmisión de datos CNS (Comunicación /Navegación/Vigilancia). | SI | NO Hasta el momento el tipo de operación de la empresa no hace necesario el uso de dichas tecnologías. | SI | SI | SI |
| ¿Prefiere continuar usando los sistemas que posee actualmente en su flota? | NO | SI Los actuales equipos satisfacen las necesidades de la empresa. | NO | NO | NO |
| ¿Qué valor en dólares estaría dispuesto a pagar su empresa para la instalación de un sistema digital de enlace de datos, teniendo en cuenta los beneficios que dicha tecnología otorga? | Menos de 100000 | No responde | Menos de 100000 | Menos de 100000 | Menos de 100000 |

Analizando los resultados obtenidos de las encuestas realizadas, se puede deducir que:

La única aerolínea que opera con la tecnología Data Link es Avianca a través del sistema ACARS. Por otro lado, ninguna otra aerolínea tiene instalado en sus aeronaves sistemas de enlace de datos (Data Link).

En Avianca, la tecnología que manejan es ACARS y esta le ha traído beneficios, ya que le permite a la aerolínea tener información de la aeronave en cualquier momento que se desee y ayuda al manejo operacional de la flota de la aerolínea.

El 30% de la flota de Avianca posee tecnología de enlace de datos digital, la cual corresponde a la tecnología ACARS mencionada anteriormente y que se encuentra instalada en las nuevas aeronaves adquiridas por la compañía por renovación de flotas, como es el caso de Airbus 320 que hace poco tiempo entró a ser parte de la flota de la aerolínea.

Las demás empresas encuestadas, a pesar de no tener instalada en su flota ninguna tecnología digital de datos, manifiestan conocer las ventajas o beneficios de Data Link. La aerolínea LAS manifestó que el mayor beneficio es la disminución carga de trabajo para piloto/controlador y la reducción en los errores de comunicación Controlador/piloto. Por otro lado la aerolínea Avianca opina que ayuda en el seguimiento en tiempo real y mejora en costos operacionales.

Las empresas que mostraron su interés en la instalación de sistemas digitales CNS fueron la empresa Avianca, Satena, AeroRepública y Aires ya que esta ofrece beneficios operacionales. LAS en el momento no está interesada pues

hasta el momento el tipo de operación de la empresa no hace necesario el uso de dichas tecnologías digitales, según ellos.

LAS prefiere continuar con los equipos actuales instalados en las aeronaves ya que estos satisfacen las necesidades de la empresa, Avianca por su lado considera que sus aeronaves deben cambiar toda la tecnología antigua por las nuevas que brindaran mayor seguridad en la operación de sus aeronaves.

Otro aspecto de gran importancia tratado en la encuesta es el económico, todas las aerolíneas piensan en invertir en el equipo requerido para operar estas nuevas tecnologías menos de 100000 US.

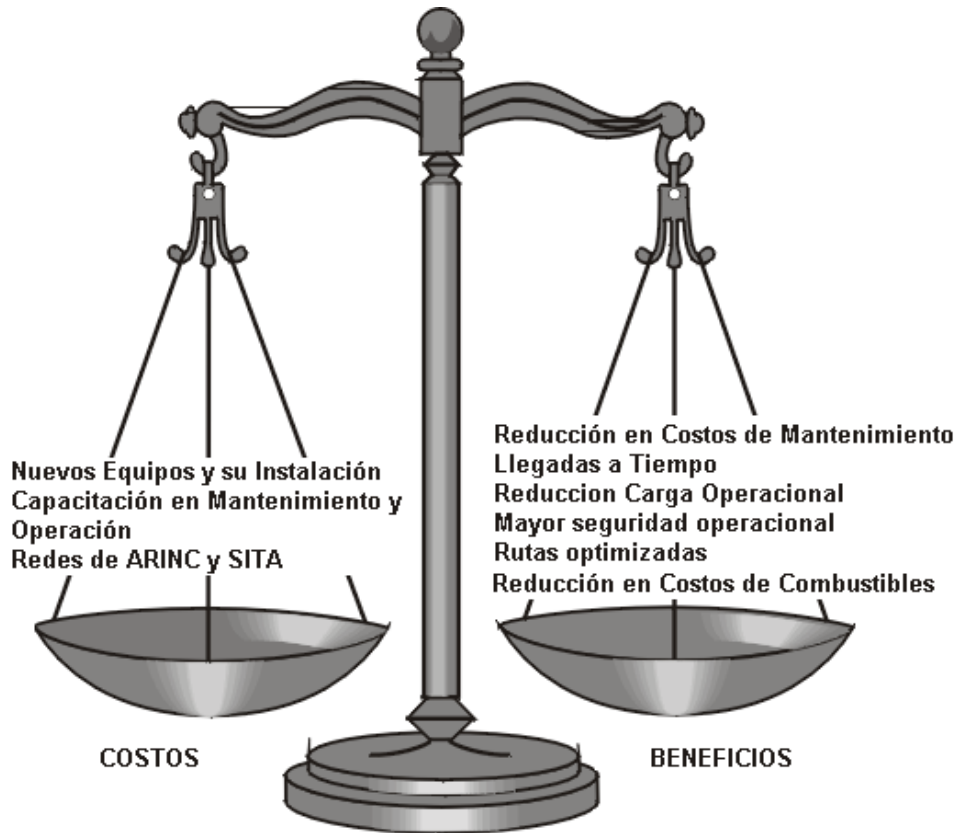
Del anterior análisis se puede observar que la mayoría de las empresas se encuentran interesadas en implementar tecnología de enlace de datos en la mayoría de sus aeronaves, algunas empresas encuestadas están satisfechas con los resultados que han obtenido con los sistemas actuales y porque la operación de las mismas no lo requieren. Es de conocimiento general que las ventajas ofrecidas por este tipo de sistemas son importantes, a pesar de los cambios en avionica que son requeridos tanto abordo como en estaciones de tierra, que le generaran a las aerolíneas costos considerables, pero que mejoraran la seguridad operacional de sus aeronaves, por lo cual en el futuro todas las aerolíneas se verán en la obligación de la implementación de estos sistemas, además, la

UAEAC ya está tratando este tema en concreto para el estudio de transición a estas nuevas tecnologías.

- Costo – Beneficio para las aerolíneas: Para una transición hacia los sistemas VDL es necesario que los operadores de las aeronaves realicen un estudio de beneficio – costo con mayor exactitud.

Dentro del proceso de transición se puede encontrar que son mayores los beneficios en términos de menores costos y gastos para las aerolíneas en comparación al costo de instalación de los sistemas de comunicación VDL y una posterior transición a sistemas CNS. Aunque el costo es un poco alto al principio para cada aeronave, la rentabilidad de dichos sistemas será evidente a mediano y largo plazo. Para aeronaves clasificadas más adelante como clásicas, es necesario que los operadores tengan en cuenta todo el cambio en aviónica anteriormente expuesto y el costo mucho mayor que este acarrea, y si sería mejor reemplazar dichas aeronaves.

Figura 36. Relación Costo-Beneficio con VDL



- Beneficios para las aerolíneas Los beneficios nombrados anteriormente son solo algunas de las ventajas que el VDL traerá para cada operador. Con la instalación de los nuevos sistemas de comunicaciones con enlace de datos digitales, las aerolíneas se beneficiarán tanto en el área de la seguridad como en la económica.

Las aerolíneas también tendrán tratamiento de datos e intercambio entre aeronaves en vuelo muy mejorados, usando medios tales como la Conexión de Datos Controlador/Piloto (*Controller Pilot Data Link*, o CPDLC), con proveedores de servicios de tráfico aéreo, y también entre aeronaves. Los operadores de

aeronaves también se beneficiarán de una mayor seguridad, que resulta de mejor vigilancia usando Vigilancia Automática Dependiente (ADS) y detección automática de conflictos, si se opta por el VDL Modo 4.

Por medio de la conexión a las unidades de información de vuelo y el FMS podrán automatizarse las tareas de planeación de ruta y tener información actualizada en todo momento sobre el clima en cada parte de la trayectoria de vuelo.

Con las interfases entre la CMU y las unidades de monitoreo de datos para mantenimiento de componentes y motores como la ACMS, y el EICAS, podrán enviarse en tiempo real parámetros de funcionamiento de dichas unidades y así tener una mejor planeación del mantenimiento. Ya que como estos parámetros son transmitidos por medio inalámbrico no es necesaria la conexión en tierra hacia los sistemas de descarga de datos. Todo esto acarrea una disminución drástica en costos de mantenimiento y tiempo en tierra de la aeronave.

- Costos de Instalación: El siguiente análisis se realizó en base a un paper de MITRE³⁵. Lo primero que se debe hacer para realizar un estudio sobre el impacto económico de la implementación de un nuevo sistema digital de comunicaciones en las aerolíneas colombianas, es efectuar una clasificación de las aeronaves que actualmente operan en Colombia. Este estudio se realizó para las empresas a las que les aplicó la encuesta anteriormente estudiada. La

³⁵ http://www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers_01/nickum_intelligent/index.html Disponible Mayo 2008

- Tabla 19 clasifica las aeronaves según su operador y su modelo de fabricación.

Para simplificar el estudio de costos de los nuevos equipos de aviónica abordo, las aeronaves serán divididas en grupos de acuerdo a su arquitectura de aviónica y fecha de introducción a servicio. Las aeronaves se clasificaron como AERONAVES CLASICAS, AERONAVES FMS/EFIS, Y AERONAVES NUEVA GENERACION.

Tabla 19. Tipos de Aeronaves en las Principales 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 |
| | TOTAL | 51 |
| AEROREPUBLICA | 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 |
| | Embraer ERJ-145ER | 5 |
| | Embraer ERJ-170 | 2 |

| | | |
|---------------|-------------------------|-----------|
| SATENA | Dornier 328 | 6 |
| | TOTAL | 13 |
| LAS | Boeing 727-100 | 3 |
| | Boeing 727-200 | 4 |
| | Mc Donnell Douglas DC-9 | 1 |
| | TOTAL | 8 |

Aeronaves Clásicas: Dentro de este grupo se incluyen las aeronaves que no cuentan con interfases digitales o pantallas electrónicas, y dependen de instrumentos electromecánicos. Aunque son capaces de proveer al piloto la información necesaria para un vuelo seguro, sus sistemas de aviónica son costosos de actualizar, además, que su mantenimiento es mas complicado debido a la variedad de piezas mecánicas que estos tienen para brindar al piloto la información necesaria durante el vuelo. Este grupo comprende las aeronaves:

Tabla 20 . Aeronaves Clásicas

| AEROLINEA | AERONAVE | CANTIDAD |
|------------------|-------------------------|-----------------|
| LAS | Boeing 727-100 | 3 |
| | Mc Donnell Douglas DC-9 | 1 |
| AIRES | De Havilland Dash 8-100 | 1 |
| | De Havilland Dash 8-300 | 4 |
| AVIANCA | Fokker – 50 | 8 |

Las anteriores aeronaves fueron diseñadas con sistemas análogos de comunicaciones y operan bajo el estándar ARINC 566A, para radios convencionales o análogos. Ninguno de los fabricantes de estos radios ofrece

actualización para nuevos radios digitales (VDR), los cuales son requeridos para la funcionalidad de VDL (ARINC 750).

Para mejorar las capacidades a un VDL Modo 2 en estas aeronaves es necesario el reemplazo de todos los radios o su mayoría instalados en la aeronave.

Deben ser reemplazados todas aquellas unidades no compatibles con los nuevos protocolos de enlace de datos, ya que las nuevas (CMU)'s tienen la habilidad de soportar VDL Modo 2 y 3. Es por esto que todas las aeronaves clásicas nombradas anteriormente requerirán una nueva CMU.

Para que las aeronaves clásicas puedan usar aplicaciones de VDL Modo 2 o más avanzadas, una nueva unidad (DCDU) debe ser instalada. Las unidades actualmente instaladas en aeronaves clásicas que soportan enlace de datos ACARS, no pueden ser actualizadas para realizar interfaces con las nuevas CMU's o no pueden soportar los requerimientos de certificación de software para enlace de datos ATC. Ya que las unidades como VDRs, CMUs, DL CDUs y Paneles de Control de Radio (RCPs) solo soportan buses digitales todo el alambrado correspondiente a las unidades reemplazadas debe ser retirado. Así mismo, las nuevas unidades y equipos requerirán nuevas bandejas para ser instaladas y las antiguas deben ser removidas, lo que alargara el proceso de actualización. En resumen, las aeronaves de la categoría clásica requerirán:

- ✓ Que todos los actuales radios VHF sean reemplazados con VDR's.

- ✓ El Data Link Management (DLM) sea reemplazado por la CMU.
- ✓ Una nueva unidad DL CDU.
- ✓ Un proceso de instalación más complejo, el cual tendrá mayores costos.

Tabla 21. Actualización de Equipos Aeronaves Clásicas a VDL

| EQUIPO | ACTUAL | CON ACTUALIZACION |
|-------------------|---|--|
| RADIOS |  VAR ARINC 566A |  VDR ARINC 750 |
| UNIDAD CENTRAL |  DLM ARINC 724B |  CMU ARINC 758 |
| INTERFASE GRAFICA | NO POSEE |  DL CDU ARINC 739 |

Aeronaves FMS/EFIS: El Sistema de Gestión de Vuelo y el Sistema Electrónico de Instrumentos de Vuelo (FMS/EFIS) de la aeronave se caracteriza por el uso de ARINC 429, los cuales utilizan interfases digitales para interconectar la mayoría de los sistemas dentro de la aeronave. Las aeronaves FMS/EFIS generalmente se

encuentran equipadas con pantallas electrónicas ya sea de Tubos de Rayos Catódicos (CRT) ó Cristal Líquido (LCD). La mayoría de de estas aeronaves cuentan además con un Multi-function Control Display Unit (MCDU), para acceder al FMS, al enlace de datos y a otros requerimientos de sistemas que necesiten una interfase de entrada y salida de datos a la tripulación.

Para diferenciar AERONAVES FMS/EFIS con radios de comunicación actualizables de los que no tienen esa capacidad, se define una identificación Digital vs. Análoga.

Tabla 22. Aeronaves FMS/EFIS Análogas

| AEROLINEA | AERONAVE | CANTIDAD |
|----------------------|--------------------------|-----------------|
| LAS | Boeing 727-200 | 4 |
| AIRE | De Havilland Dash 8-200 | 10 |
| AVIANCA | Boeing 767-300ER | 2 |
| | Boeing 767-200ER | 5 |
| | Boeing 757-200 | 7 |
| | Mc Donnell Douglas MD-83 | 16 |
| | Fokker – 100 | 12 |
| AEROREPUBLICA | Boeing (Douglas) MD82 | 3 |
| | Boeing (Douglas) MD83 | 2 |
| SATENA | Embrear ERJ-145ER | 5 |
| | Embrear ERJ-170 | 2 |
| | Dornier 328 | 6 |

Tabla 23. Aeronaves FMS/EFIS Digitales

| AEROLINEA | AERONAVE | CANTIDAD |
|----------------------|-----------------|-----------------|
| AVIANCA | Airbus - A320 | 1 |
| AEROREPUBLICA | Embraer 190 | 9 |

Muchas de las aeronaves FMS/EFIS fueron entregadas con radios ARINC 716, los cuales actualmente cuentan con buses de radio ARINC 429, sin embargo, estos no son actualizables a radios digitales VDR's con ARINC 750. Estas aeronaves son identificadas como AERONAVES FMS/EFIS ANALOGAS, para diferenciarlas de las AERONAVES FMS/EFIS DIGITALES con ARINC 750 las cuales pueden ser actualizables. La transición de las AERONAVES FMS/EFIS DIGITALES es considerada como actualizable a través de los "kits de actualización" y no requiere que los radios sean reemplazados.

Como en las AERONAVES CLASICAS, la unidad data link management (DLM) en las AERONAVES FMS/EFIS, tendrá que ser remplazada por una nueva (CMU) compatible.

La mayoría de las AERONAVES FMS/EFIS usan actualmente ACARS, casi todas estas aeronaves están equipadas con (DLM) con ARINC 724B, que no son actualizables con (CMU) con ARINC 758. La mayoría cuentan con MCDU como parte del FMS. Esta unidad puede ser actualizada con capacidad de VDLM3 o VDLM2. En resumen para las AERONAVES FMS/EFIS, tenemos:

- ✓ Todas las AERONAVES FMS/EFIS ANALOGAS, requieren reemplazar los radios VFH de comunicación, con radios compatibles ARINC 750.
- ✓ Todas las AERONAVES FMS/EFIS requieren una nueva CMU para reemplazar el (DLM)
- ✓ La MCDU del FMS soporta actualización para los nuevos Modos de VDL.
- ✓ Las transiciones para AERONAVES FMS/EFIS DIGITALES con radios ARINC 750 son actualizables sin cambios de radios por medio del “kit de actualización”.

Tabla 24 Actualización de Equipos Aeronaves FMS/EFIS Análogas a VDL

| EQUIPO | ACTUAL | CON ACTUALIZACION |
|-------------------|--|---|
| RADIOS |  VAR ARINC 716 |  VDR ARINC 750 |
| UNIDAD CENTRAL |  DLM ARINC 724B |  CMU ARINC 758 |
| INTERFASE GRAFICA |  FMS-MCDU ARINC 739 | No Requiere |

Tabla 25 Actualización de Equipos Aeronaves FMS/EFIS Digitales a VDL

| EQUIPO | ACTUAL | CON ACTUALIZACION |
|-------------------|---|---|
| RADIOS |  VDR ARINC 750 | No Requiere |
| UNIDAD CENTRAL |  DLM ARINC 724B |  CMU ARINC 758 |
| INTERFASE GRAFICA |  FMS-MCDU ARINC 739 | No Requiere |

Aeronaves Nueva Generación: En este grupo pueden considerarse aeronaves fabricadas en los últimos 5 años, y aquellas en las cuales los operadores pueden elegir antes de ser entregadas entre instalar un sistema de comunicaciones convencional o uno que sea capaz de soportar enlace de datos. Este último representa un costo adicional para la aeronave, es decir cualquier servicio de comunicaciones adicional en estos momentos al que la aerolínea debería pagar y que sea instalado antes de ser entregada representa costos. Esto permite

diferenciar y analizar por separado el costo extra que debe pagar para poder obtener características de VDL actualizadas.

Tabla 26. Aeronaves Nueva Generación

| AEROLINEA | AERONAVE | CANTIDAD |
|------------------|-----------------|-----------------|
| LAS | Boeing 737-800 | - |
| AVIANCA | Airbus - A330 | - |
| | Airbus - A350 | - |
| | Boeing 787 | - |

Procesos de transición VDLM2: Para llevar a cabo un proceso de transición a VDLM2 la aeronave requerirá el reemplazo de los radios de VHF de comunicación con radios VDR, y una nueva CMU. Además los kits de instalación más adelante descritos.

Procesos de transición VDLM3 con Voz Solamente: Esta transición requería cambios considerables en la aeronave afectando el radio de comunicaciones, el panel de control de radio y el DLM, además

- ✓ Los tres radios de comunicaciones deben ser reemplazados o actualizados
- ✓ Adicionar tres nuevos (RCP).
- ✓ Reemplazar el DLM del ACARS con una nueva CMU.

Procesos de transición VDLM3 con Datos y Voz: Dependiendo de la clase de aeronave, puede ser relativamente fácil o muy extensivo el proceso de transición.

- ✓ Todos los radios (3) VDR's deben soportar VDLM3.
- ✓ CMU debe soportar VDLM3
- ✓ Actualizar los (RCP)
- ✓ Tener instalado una (DL CDU)

Procesos de transición VDLM4: Ya que el VDLM4 no solo involucra comunicaciones sino aplicaciones de vigilancia es importante tener en cuenta dichos equipos para una posterior puesta en marcha de esos servicios, pero no se tendrán en cuenta para el estudio económico.

- ✓ Todos los radios (4) VDR's deben soportar VDLM4.
- ✓ CMU debe soportar VDLM4
- ✓ Actualizar los (RCP)
- ✓ Tener instalado una (DL CDU)
- ✓ Tener instalado una (CDTI) - Funciones de Control Tráfico Aéreo
- ✓ Un receptor que soporte GNSS - Funciones de ADS

Las aeronaves que estén equipadas con FMS y EFIS, necesitarán solo una actualización de software y algunos pequeños cambios de hardware. Mientras que aquellas que no lo posee su actualización para VDLM4 será muy complejo

- **Costos de Equipos Para Cada Modo de VDL:** La siguiente tabla muestra los costos de los equipos, kits de instalación y costos de mano de obra para la instalación de los mismos. Esta información fue suministrada por los tres más grandes fabricantes de equipos de aviónica en el mundo, Rockwell Collins, Thales, y Honeywell. Para este estudio se tomarán los valores más altos para cada equipo

Tabla 27. Costos de Equipos Para Cada Modo VDL

| Equipo | Costos Promedios | |
|--|-------------------------|-----------|
| RADIOS DIGITALES | | |
| VDR M2 | \$ 23.000 | \$ 28.500 |
| VDR M3 | \$ 27.000 | \$ 30.500 |
| VDR M4 | \$ 28.000 | \$ 31.500 |
| UNIDAD DE GESTIÓN DE COMUNICACIONES | | |
| CMU M2 | \$ 28.000 | \$ 31.500 |
| CMU M3 Voz | \$ 29.000 | \$ 32.500 |
| CMU M3 Voz y Datos | \$ 30.000 | \$ 33.500 |
| CMU M4 | \$ 30.000 | \$ 34.000 |
| PANEL DE CONTROL DE RADIOS | | |
| RCP Para cualquiera de los modos | \$ 8.500 | \$ 9.500 |
| DATA LINK CDU | | |

| | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------|
| DLCDU Para cualquiera de los modos | \$ 25.000 | \$ 28.000 |
| PRINTER ARINC 740 | | |
| PRINTER Para cualquiera de los modos | \$ 25.000 | \$ 28.000 |

Tabla 28. Costos de Kits de Instalación

| Kits de Instalación | Precio |
|------------------------------|------------------------|
| Aeronaves Clásicas | > \$ 10000 |
| Aeronaves FMS/EFIS Análogas | \$ 5000 |
| Aeronaves FMS/EFIS Digitales | \$1000 |
| Aeronaves Nueva Generación | Lo cubre el Fabricante |

Los kits de instalación son los materiales necesarios para completar la instalación para que una aeronave tenga capacidades de VDL. Ejemplo de estos materiales son:

- ✓ Equipo de bandejas
- ✓ Cableado y arneses de cableado
- ✓ Conectores y clavijas
- ✓ Sujetadores y otro tipo de hardware

Generalmente los kits para actualizar las aeronaves clásicas son los más caros y los de FMS/EFIS de menor costo.

Tabla 29 Costos de Instalación

| Componente | Tarifa Por Hora |
|------------|-----------------|
| VDR | \$ 50 |
| CMU | \$ 50 |
| RCP | \$ 32 |
| DL CDU | \$ 32 |

Tabla 30 Costos de Equipos VDL para cada Aeronave

| Clase de Aeronave | VDLM2 | VDLM3 | VDLM4 |
|--------------------------------|----------|----------|------------|
| Clásica | \$155000 | \$172500 | > \$200000 |
| FMS/EFIS Análoga | \$123000 | \$130000 | \$135000 |
| FMS/EFIS Digital | \$52500 | \$54500 | \$57500 |
| Nueva Generación ³⁶ | \$58900 | \$54500 | \$49392 |

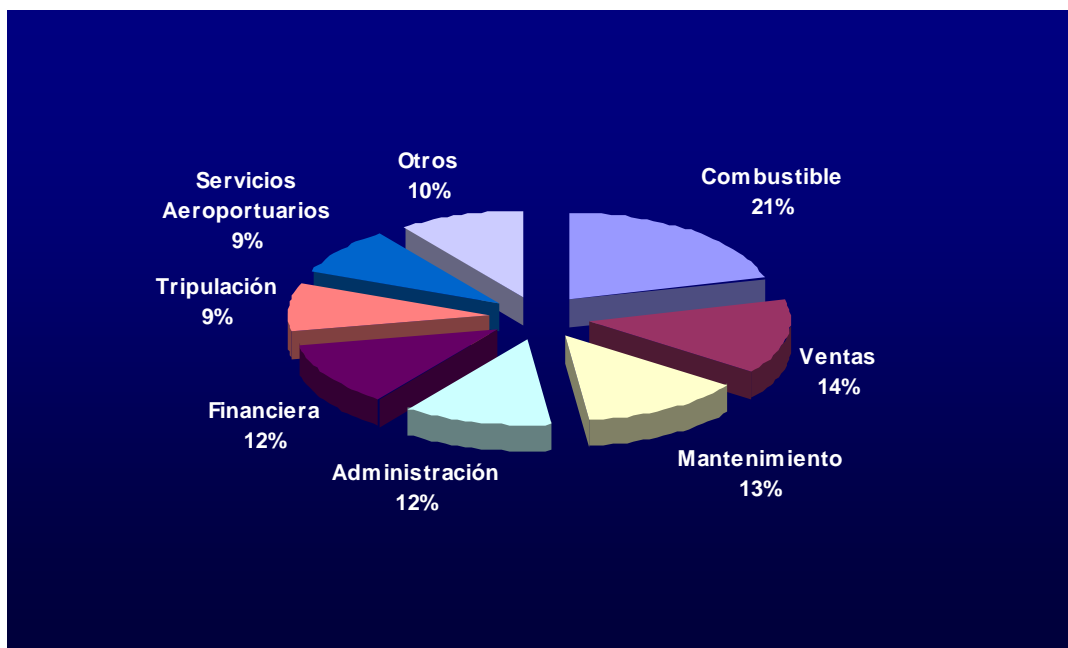
- Costos de Operación y Mantenimiento: Los costos de operación y mantenimiento deben determinarse bajo el tiempo que durará operativa la

³⁶ Entrevista vía e-mail, DELHAISE Patrick, EUROCONTROL, Mayo de 2008

aeronave. Para aeronaves comerciales en Colombia, el combustible total consumido representa el 21 % de los costos de operación y el mantenimiento representa cerca del 13% como puede apreciarse en la

- Figura 37. Estos dos costos son los de mayor valor dentro del balance económico de una empresa operadora que realice mantenimiento a sus propias aeronaves.

Figura 37 Costos de Operación y Mantenimiento en Aerolíneas Colombianas



Fuente: Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, www.aerocivil.gov.co, disponible

Mayo 28 de 2008

Ya que las tareas de operación y mantenimiento serán mucho más automatizadas gracias al VDL, los principales costos como el combustible y el mantenimiento serán reducidos en un alto porcentaje.

También tendremos, reducción en los gastos de tripulaciones, servicios de pasajeros, y mantenimiento, al tener rutas más cortas y menor tiempo de vuelo.

- Costos de Capacitación : Ya que se está tratando un concepto completamente nuevo (CNS/ATM), se requiere de una capacitación de alto nivel en todas las áreas dentro de la empresa operadora y de mantenimiento. Las Empresas deberán asumir algunos costos en cuanto a la capacitación del personal técnico como operativo e invertir decididamente en un proceso de capacitación que contemple el entrenamiento en el uso de estas tecnologías a todos los niveles de los recursos humanos relacionados con la aviación y los servicios operativos. La correspondiente capacitación contribuirá a reducir al mínimo el impacto causado por el cambio de tecnologías y procesos, procurando evitar la ocurrencia de fallas; esto último considerando que la capacitación por sí sola no garantizará que no ocurran, ya que existen otros elementos que estarán íntimamente relacionados, principalmente en lo que respecta a factores humanos, por lo que se deberán de abordar no sólo las aptitudes sino también las actitudes del personal.

- ✓ Capacitación para las tripulaciones de vuelo: Debe realizarse un plan de capacitación tanto en tierra como en simuladores de vuelo para las tripulaciones que manejarán los nuevos modos de VDL. Dichos planes de capacitación deben incluir programas recurrentes de manejo de los recursos humanos y como este nuevo escenario puede impactar el actuar de las tripulaciones.

✓ Capacitación para el personal técnico: Para el personal encargado del mantenimiento de estos nuevos sistemas de comunicaciones deben realizarse planes de capacitación a nivel técnico sobre el funcionamiento y las nuevas tareas de prevención para mantener aeronavegables sus componentes. Además de programas de manejo de recursos humanos para evitar al mínimo inconvenientes en los procesos en tierra, y reducir así la probabilidad de accidentes operativos.

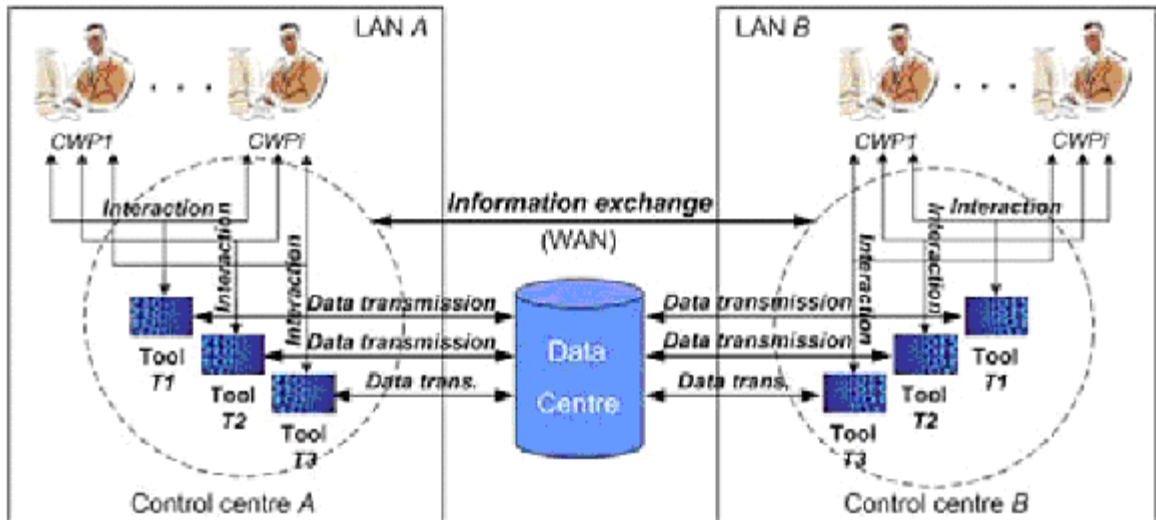
4.5.2 Estudio económico para equipos en tierra

- Costos de Equipos En Tierra: Existen 4 tipos de Espacio Aéreo: controlado, no controlado, espacio aéreo de uso especial, y otros. El tipo de espacio aéreo es definido dependiendo del movimiento de aeronaves, el propósito de las operaciones que aquí se conducen, y el nivel de seguridad requerido. El espacio aéreo está clasificado por la OACI en 7 partes, definidos con una letra de la A a la G. Clase A representa el nivel más alto de control, mientras que clase G es espacio aéreo no controlado. No todos los países tienen todas las clasificaciones de los espacios aéreos, se seleccionan los que más estén acordes a las necesidades que éste requiera. El espacio aéreo controlado es un espacio aéreo con dimensiones definidas en el cual hay un servicio de control de tráfico aéreo para vuelos IFR y para vuelos VFR según la clasificación de éste. El espacio

aéreo controlado es también un espacio aéreo en donde todos los pilotos están sujetos a ciertos requisitos, reglas de operación, y requerimientos para sus aeronaves.

Los sistemas actuales de ATC están basados en el espacio aéreo. Este se dividió en muchos sectores, cuyos tamaños dependen del promedio de volumen del tráfico y de la geometría de las aerovías. Hay usualmente dos controladores de tráfico aéreo para manejar el tráfico en cada sector, un controlador encargado de las comunicaciones con los pilotos, y un planificador quien se encarga del trabajo de sus colegas. Los sectores están reagrupados en regiones las cuales están bajo mando de un centro de control mayor. Esta arquitectura no será cambiada en el futuro, pero sus herramientas de soporte si evolucionarán en gran medida para soportar comunicaciones digitales. El sistema estará distribuido en redes de área local (Local Area Networks - LANs) en cada centro de control y redes de gran área (Wide Area Network- WAN) entre estos centros. La Figura 38 ilustra una aplicación típica donde dos diferentes centros de control están conectados con un centro común de procesamiento de datos de vuelo a través de una (WAN). Cada centro de control tiene aplicaciones de herramientas de software en uso. Estas aplicaciones se conectan con el *Controller Working Positions* (CWP) por medio de una (LAN).

Figura 38. Arquitectura Básica Para un ATC Futuro



Fuente: http://ki.informatik.uni-wuerzburg.de/~kluegl/att2008/pdf/ATT_26.pdf, Disponible Mayo 2008

Dentro de los principales fabricantes de equipos receptores y transmisores con tecnología VDL se encuentran Park Air, Harris y Tolerad, compañías dedicadas exclusivamente al desarrollo de sistemas de comunicaciones.

- Park Air

Ofrece el radio digital multimodo PAE T6 para comunicaciones avanzadas en VHF y UHF. Ofrece las siguientes características:

- ✓ Banda de operación aeronáutica VHF ó UHF (Operaciones Militares).
- ✓ Estándares OACI con espaciamento de canal de voz AM 8.33/12.5/25 kHz
- ✓ Transmisor, receptor ó transreceptor.
- ✓ Soporta VDL Modo 2, y VDL Modo 3
- ✓ Costo de Equipo: \$ 45.000

Figura 39. Radio Transmisor, Receptor PAE T6 Servicio de ATC



Fuente: PARK AIR SYSTEMS, www.parkairsystems.com/index.asp?id=67, Disponible Mayo 2008

- Telerad: Es una empresa francesa dedicada a dar soluciones a problemas de comunicaciones y lidera el mercado de sistemas en tierra en Europa. Ofrece radios con capacidad VDL Modo 2, actualizables a Modo 3 y Modo 4. La serie 9000 – 2G están diseñados específicamente para requerimientos de centros de control tráfico, con gran capacidad y de alta confiabilidad, con capacidades de mantenimiento y control remoto. Esta serie de radios tiene las siguientes características:

- ✓ Funcionalidad Multimodo con software actualizable.
- ✓ AM, ACARS, VDLM2 (Actualizable a VDLM3, VDLM4).
- ✓ Ancho de banda de 118-144 MHz, (Opción de extensión de 108-150 MHz).
- ✓ – 50 W de Potencia de Salida para la RF.
- ✓ Capacidad de mantenimiento y control remoto (Built-in test).
- ✓ Costo de Equipo: \$ 50.000

Figura 40 Radio Transmisor, Receptor Telerad 9000, Servicio de ATC



Fuente: <http://telerad.fr/details-gamme-vhf-systeme-radio-vhf-multimode-2-29.php> , Disponible Junio 2008

- Harris: Harris ofrece la Estación de Tierra Harris (HGS) la cual soporta comunicaciones A/T VHF Modo 2. Esta estación está compuesta por el radio transceiver y una laptop de mantenimiento. Su desventaja no puede ser actualizables a VDLM3 o VDLM4.

Figura 41 HGS y Laptop para mantenimiento



Fuente: http://download.harris.com/app/public_download.asp?fid=454 , Disponible Junio 2008

✓ Costo de Equipo: \$ 55.500

- Costos de Capacitación: Dentro del proceso de transición hacia la nueva tecnología de enlace de datos que se implantará también en los centros de control de tráfico aéreo en Colombia, es muy importante e imprescindible la capacitación técnica y de recursos humanos que se debe impartir a los controladores. Es

importante tener en cuenta que no solo deben aprender a manejar los nuevos sistemas sino que deben tener una nueva conciencia situacional ya que las comunicaciones se restringirán en un 90% por una vía escrita, y la antigua comunicación oral será casi descartada. Es por esto que dentro de los costos de capacitación es necesario incluir la instalación de un simulador para un ATC.

- Costos de un simulador de ATC: Dentro de los principales fabricantes de simuladores de tráfico aéreo en el mundo, se encuentra la empresa Micro Nav Ltda., la cual es líder desde 1988 produciendo estos simuladores. Han producido más de 400 unidades y se encuentran repartidas en todo el mundo.

Esta empresa ofrece simuladores en 2D y 3D siendo estos últimos los más costosos, ya que emplea mayor número de pantallas y requiere un procesador de mayor capacidad. Los simuladores vienen en configuración de área de radar y de torre. Es decisión de la aeronáutica civil colombiana si desea implementar un simulador con 2D para controladores de torre, pero en este estudio se recomienda inicialmente la instalación del simulador 3D (ver Figura 43).

Figura 42 Simulador de Radar



Fuente: <http://www.micronav.co.uk/> , Products - Brochures, Disponible Junio 2008

Las siguientes son las características que ofrece Micro NAV para el simulador 2D

“BEST ATC RADAR SIMULATION SYSTEM”:

Una estación de trabajo de controlador con:

- PC, Teclado y Mouse
- Pantalla de Radar LCD de 19”
- Pantalla Auxiliar de Información LCD de 17”
- Pantalla para Comunicaciones Touchscreen LCD de 12”
- Sistema Operativo Windows XP Pro
- Auriculares
- Pedal

Una estación de trabajo de piloto con:

- PC, Teclado y Mouse
- Pantalla de Radar LCD de 19”
- Pantalla Auxiliar de Información LCD de 17”
- Pantalla para Comunicaciones Touchscreen LCD de 12”
- Sistema Operativo Windows XP Pro

- Auriculares
- Pedal

Impresora tipo Strip Printer

Cables de Interconexión Conexión

Software

- Área de Radar y Aproximación
- Control en Área no radar
- Estaciones de comunicaciones

Entrenamiento

- 5 días de entrenamiento en MNL, Reino Unido

Soporte

- 3 meses de soporte técnico
- 12 meses de garantía sobre los equipos.

Para los simuladores de torre, Micro Nav ofrece las siguientes características:

Una estación de trabajo de controlador con:

- PC, Teclado y Mouse
- Pantalla de Radar LCD de 19"
- Pantalla Auxiliar de Información LCD de 17"
- Pantalla para Comunicaciones Touchscreen LCD de 12"
- Sistema Operativo Windows XP Pro
- Auriculares
- Pedal

Una estación de trabajo de piloto con:

- PC, Teclado y Mouse
- Pantalla de Radar LCD de 19"

- Pantalla Auxiliar de Información LCD de 17"
- Pantalla para Comunicaciones Touchscreen LCD de 12"
- Sistema Operativo Windows XP Pro
- Auriculares
- Pedal

Impresora tipo Flight Strip Printer

Cables de Interconexión Conexión

Software

- Área de Radar y Aproximación
- Control en tierra y torre

Entrenamiento

- 10 días de entrenamiento en MNL, Reino Unido

Soporte

- 3 meses de soporte técnico
- 12 meses de garantía sobre los equipos.

Figura 43. Diferencia entre simulador de torre 2D y 3D



Fuente: <http://www.micronav.co.uk/> , Products - Brochures, Disponible Junio 2008

Los costos de cada una de las configuraciones pueden verse en la siguiente tabla

Tabla 31. Costos Simuladores para ATC

| Simulador | 2D | 3D |
|-----------|-----------------------|-----------------------|
| Radar | 19,750 (Excluido VAT) | N/A |
| Torre | 19,750 (Excluido VAT) | 49,750 (Excluido VAT) |
| Paquete | 29.500 (Excluido VAT) | N/A |

Fuente: <http://www.micronav.co.uk/> , Consulta vía e-mail, Mayo 2008

5 PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 DATOS TÉCNICOS

Gracias al análisis técnico realizado anteriormente se puede plasmar un cuadro paralelo que compare las diferentes características técnicas de cada uno de los modos de enlace de datos en VHF. En la tabla 32 puede observarse que aunque el VDLM4 tiene una velocidad de transferencia menor, gracias al protocolo STDMA utiliza con mayor eficiencia el canal de frecuencia, solucionando así la congestión de estos canales. Es decir en un mismo canal (de 25 ó 8.33 kHz) puede comunicarse con varias aeronaves al mismo tiempo. El VDLM3 tiene esta misma característica, pero su desventaja principal es la falta de comunicación punto a punto, lo que si es una ventaja del VDLM4, el cual proporciona una base para la instalación del sistema ADS-B, sistema que logrará un nivel muy alto de vigilancia gracias a su integración con el sistema TCAS.

VDLM4 cuenta con mayores ventajas sobre sus competidores. Por ejemplo este transmite una señal FM con una modulación GFSK, el cual tiene mucha mayor eficiencia frente al D8PSK, en cuanto a menor interferencia. Esto incrementa el uso de las radio frecuencias, traduciendo en una mayor capacidad del espacio aéreo.

El VDLM2 provee solo servicio de enlace de datos a la aeronave y comparte algunas características técnicas con el VDLM3, por ejemplo, el esquema de modulación digital es el mismo. Debido a la sensibilidad al ruido, el VDLM2 y 3 necesitan 2 canales guardas para proteger la señal. Lo que quiere decir que se requieren tres frecuencias, lo cual estaría en contra del alivio de frecuencias. El acceso del medio VDLM2 está basado en un algoritmo el cuál opera como un protocolo de Ethernet de una red de datos común. Consecuentemente, un incremento en el tráfico de información podría causar demoras en tiempo crítico. Aunque todos estos parámetros son falencias de los cada uno de los modos, claramente representan un sistema de mayor eficiencia y confiabilidad que los sistemas análogos actualmente instalados.

En la Tabla 33 puede observarse que los todos los modos proporcionan servicios básicos de CPDLC y AOC, pero el VDLM3 no brinda información de reportes climáticos, los cuales son mostrados de una forma agradable con la interfase de un MFD, y dan al piloto una información en tiempo real sobre la situación del clima en ruta en los modos 2 y 4. Además de esto una capacidad de vigilancia es ofrecida por el VDLM4, la cual orienta al piloto con un CDTI (Cockpit Display of Traffic Information) para que tenga un conciencia situacional sobre el tráfico en pista y se eviten las incursiones no deseadas.

Tabla 32. Cuadro Comparativo de Modos VDL

| DATA LINK | Modulación | Protocolo | Capacidad | Velocidad de Transferencia | Enlace | Espaciamiento de Frecuencia | Control de Red | Bandas Guardias | Relacion Señal/Ruido | Enlace Por Canal |
|-----------|------------|--------------|--------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|---|
| ACARS | MSK | CSMA | Datos | 2.4 kbps | Air to Ground | 25 kHz | Controlado en Tierra | 2 | 26 a 27 dB | 1 |
| VDL 2 | D8PSK | CSMA | Datos | 31.5 kbps | Air to Ground | 25 kHz, 12 kHz 8.33 kHz | Controlado en Tierra | 2 | 26 to 27 dB | 1 |
| VDL 3 | D8PSK | CSMA TDMA | Datos Voz | 31.5 kbps | Air to Ground | 25 kHz 12 kHz 8.33 kHz | Controlado en Tierra | 2 | 26 to 27 dB | 4 3 Voz / 1 datos 2 Voz / 2 datos |
| VDL 4 | GFSK | STDMA | Datos | 19.5 kbps | Air to Ground Air to Air | 25 kHz 12 kHz 8.33 kHz | Controlado en Tierra o Aire | 0 | 10 dB | Intercambiable |

Tabla 33. Servicio de Comunicaciones y Vigilancia de Modos VDL

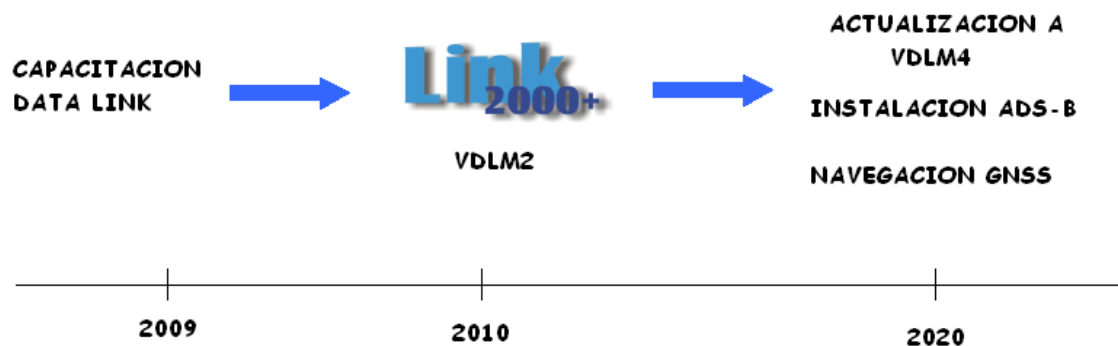
| Data Link | Comunicaciones | | | Vigilancia | |
|-----------|----------------|----------------------|-----|------------|------|
| | | | | | |
| VDLM2 | CPDLC | Reportes de Clima | AOC | - | - |
| VDLM3 | CPDLC | - | AOC | - | - |
| VDLM4 | CPDLC | Reportes de Clima | AOC | Rescate | CDTI |

Anteriormente se ha demostrado que técnicamente las ventajas del VDLM4 son mucho mayores en comparación a los otros modos, pero una transición tan drástica hacia este modo puede comprometer la seguridad operacional en la aviación civil colombiana. Es por esto que en este estudio se recomienda una transición paulatina que contemple una capacitación previa por parte de todo el personal involucrado en la operación y mantenimiento en las nuevas tecnologías, y una posterior instalación de un programa que involucre adaptaciones con pequeños cambios operacionales sobre todo para pilotos y controladores, para que sus nuevas funciones no comprometan la seguridad. Con esto el personal podrá tener una base mucho más sólida y una mayor experiencia con una nueva conciencia situacional y podrá desempeñarse mejor y con mayor seguridad en un sistema con mayor automatización como lo es el VDLM4. Es por esto que este estudio recomienda a la Autoridad Colombiana, la implementación del programa

Link 2000+, el cual se basa en la transferencia digital de datos vía VDLM2, pero puede guardar como seguridad un canal de voz digital y adapta poco a poco a los pilotos y controladores a los nuevos entornos de trabajo.

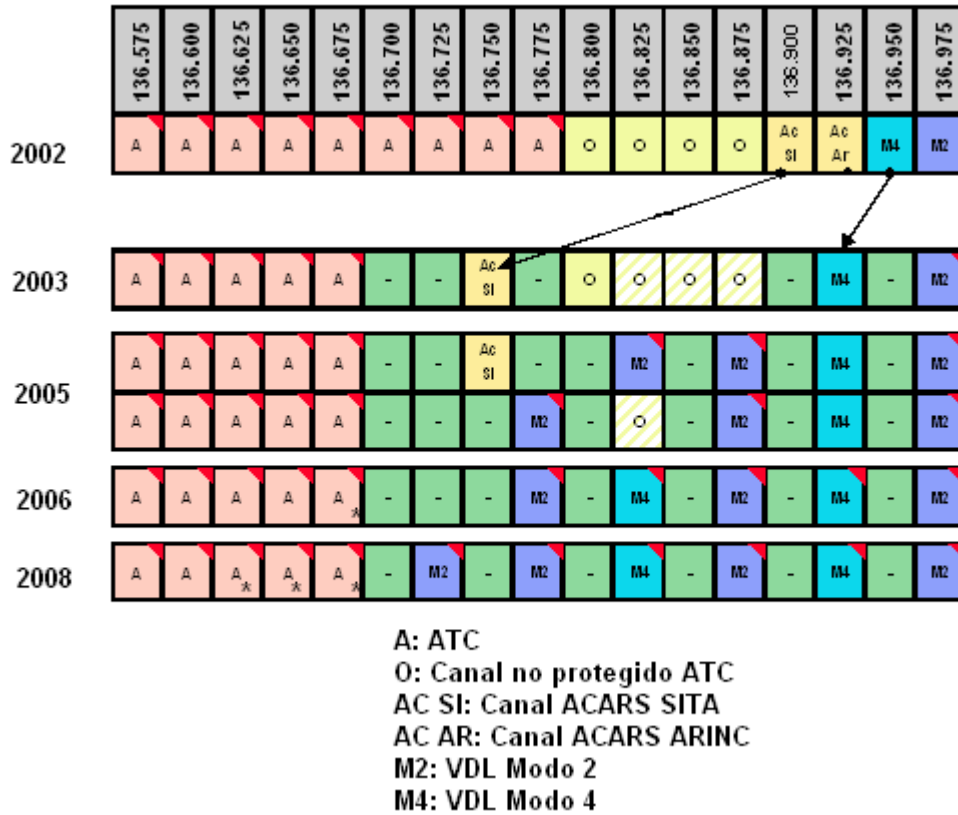
Ya que la idea es poder llegar a una automatización como la que ofrece el VDLM4, las actualizaciones para los equipos de aviónica tendrán un costo que las aerolíneas y la autoridad deberán asumir, pero este costo será menor si en el pasado se realizó una previa implementación del VDLM2.

Figura 44. Implementación Tecnología VDL en Colombia



La Aerocivil debe implementar un plan de estudios para verificar la nueva distribución de los canales de radio frecuencia que serán asignados a los modos VDL, teniendo en cuenta la situación geográfica y la no interferencia con los otros canales de voz actualmente establecidos. La Figura 45, es un ejemplo de cómo la puede iniciarse una transición para establecer canales exclusivos para el VDL. Aunque se muestran canales asignados para VDLM4, estos son utilizados en estos momentos en Europa con fines de estudios y estandarización.

Figura 45. Plan de Transición de Frecuencias VDL Modo 2 y 4

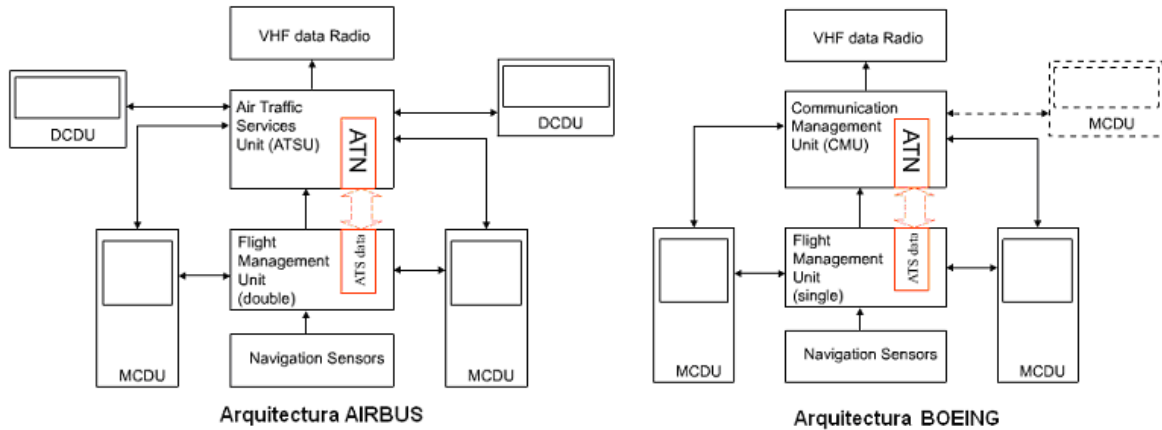


Fuente: LINK 2000+ Programme, Summary Report on VDL MODE 2 Deployment and Capacity Planning, Version 1.1, May 2005

5.2 EQUIPOS A BORDO

Hay ciertos prerequisites para la implementación del enlace de datos en la aeronave, es decir deben implementarse unidades especiales anteriormente nombradas para realizar una buena interfase con el piloto. La figura 46 muestra la configuración típica para la implementación del programa Link 2000+ en una aeronave Boeing y otra Airbus.

Figura 46. Arquitectura AIRBUS vs. BOEING



Fuente: Euroncontrol, Link 2000+ Programme, CD ROM

La arquitectura de AIRBUS está basada en la ATSU. Esta unidad provee acceso a todos los servicios de comunicaciones y soporta funciones de ATN, VDL y CPDLC. Tiene una interfase separada con la DCDC la cual es utilizada para propósitos tanto de AOC como de ATC.

En la arquitectura de BOEING, la CMU hace las mismas funciones de la ATSU. La interfase con la tripulación se provee por medio de la MCDU o DCDU en algunos casos.

Para la implementación del sistema Link 2000+, los costos asumidos por las aerolíneas para la actualización de sus equipos de comunicaciones son los calculados para el VDLM2 en la tabla 30.

6 CONCLUSIONES

- 1 Los sistemas actuales de comunicación, navegación y vigilancia, utilizados para el control de tráfico aéreo en Colombia se encuentran tecnológicamente atrasados en comparación a los de otros países y es necesaria la implementación de nuevas tecnologías que logren incrementar la seguridad y generen mayores beneficios económicos a las empresas operadoras.
- 2 La implementación de un sistema de comunicaciones por enlace digital de datos por vía VHF, incrementará la confiabilidad de la información intercambiada entre piloto y controlador, y la capacidad del centro de control para manejar mayor cantidad de aeronaves en una misma frecuencia. Además serán mejor planeadas las rutas, viéndose reducidos los costos por demoras y de combustibles, así como la ejecución rápida de los procesos de mantenimiento de las aeronaves (mayor agilidad), con la posibilidad de transmitir datos a los centros donde este se realiza.
- 3 Los sistemas de comunicaciones para control de tráfico aéreo y servicios operacionales dentro de las empresas no cuentan con niveles de seguridad requeridos para la implementación de sistemas FANS, lo que hace insegura la operación en los niveles mínimos exigidos por la OACI.

- 4 Las aerolíneas en Colombia no conocen las ventajas que los nuevos sistemas de comunicaciones pueden traer a sus empresas y es necesario que los operadores capaciten a sus ingenieros y técnicos sobre dichas ventajas y se creen los nuevos conceptos de operación y mantenimiento sobre aeronaves FANS.

- 5 La implementación y actualización a sistemas de enlace de datos para comunicaciones varia en cada empresa debido a la diferencia de edad y modelo de las aeronaves, cada aerolínea debe realizar un análisis a profundidad del beneficio vs. costo, ya que como se demostró anteriormente para aeronaves tipo clásicas (LAS, AIRES y Fokker 50 de AVIANCA) estas actualizaciones representarían un costo económico muy alto, siendo una mejor alternativa la renovación de estas aeronaves.

- 6 Aerolíneas como AVIANCA, LAS, y AIRES desean renovar algunas de sus aeronaves, es imprescindible que estas nuevas aeronaves tengan capacidad mínimo de VDL Modo 2, ya que la actualización al sistema de enlace de datos digital representaría un costo adicional sobre el costo de la aeronave.

- 7 VDL Modo 4 es a nivel técnico superior a sus competidores, ya que además de brindar características mejoradas de comunicación, soporta interfases de

vigilancia. Pero ya que su nivel de automatización es tan alto, se recomienda la implementación de un sistema que permita una transición menos riesgosa, siendo el VDL Modo 2 el más óptimo para esto.

- 8 En Europa se implementó durante el año 2006, el programa Link 2000+, el cual sienta las bases y la estandarización para la implementación de un sistemas de comunicaciones por enlace de datos digital que brinde mayor seguridad operacional.
- 9 La UAEAC debe desarrollar un plan de transición basado en el programa Link 2000+ de Eurocontrol (VDL Modo 2), para servicios de tráfico aéreo y servicios operacionales en las empresas, teniendo en cuenta todas los riesgos de seguridad que el nuevo entorno comunicativo representan en cada aérea que interviene en el proceso, así como la normatividad, los procedimiento y los equipos requeridos. Este programa debe contemplar capacitaciones de alto grado para personal de las empresas como para el personal de la autoridad.
- 10 Las aeronaves que AVIANCA desee colocar en operación próximamente como el A-320, B-787, pueden ser utilizadas por la Aerocivil en las pruebas iniciales para la implementación del Link 2000+.

- 11 Todas las aeronaves operadas por empresas Colombianas deben realizar actualizaciones a sus sistemas de comunicaciones con capacidad VDL Modo 2, e implementar un el plan de transición desarrollado por la UAEAC para el programa Link 2000+.

- 12 Dentro del proceso de implementación de comunicaciones por enlace de datos la UAEAC debe contemplar costos para la renovación de los equipos de transmisión y recepción de los centros de control y tráfico aéreo, así como las nuevas interfases HMI para los controladores.

7 RECOMENDACIONES

- 1 La Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, debería establecer un grupo de trabajo, dedicado exclusivamente a desarrollar un plan de implementación y un cronograma de trabajo para la puesta en marcha de un programa basado en VDL Modo 2, para servicios de tráfico aéreo en Colombia. El cronograma debe establecer periodos de transición por tipo de aeronaves para evitar un impacto en la operación y la seguridad de las mismas.
- 2 La UAEAC junto con el Gobierno nacional debe destinar un presupuesto anual determinado por el grupo de trabajo encargado para los procesos de implementación, el cual cubrirá todos los costos relacionados con procesos de capacitación, costos de equipos y de pruebas para la puesta en marcha del nuevo plan de comunicaciones digitales VDL.
- 3 Es necesario que las empresas aéreas, la aviación general y todo personal que tenga relación con la operación y seguridad aérea en Colombia tenga conocimiento de las nuevas tecnologías y procesos del nuevo sistema de enlace de datos digital. Es la UAEAC como ente regulador quien debe promover y publicar las nuevas ventajas del uso de este sistema.

- 4 Las empresas deben realizar una gran inversión en procesos tanto de actualización de equipos como de capacitación a sus empleados, ya que la comunicación por enlace de datos representa un nuevo entorno operacional, y el proceso de adaptación a este nuevo ambiente coloca en riesgo la seguridad de la aviación.
- 5 La UAEAC debe contemplar dentro de su plan de transición la implementación de sistemas CNS, teniendo en cuenta todos los posibles cambios que puedan surgir dentro del equipamiento de las aeronaves, como es la futura instalación de sistemas de navegación por GPS y sistemas de vigilancia ADS-B. Esto con el fin de que el impacto económico dentro de las empresas se reduzca al mínimo.
- 6 Deben establecerse convenios entre la UAEAC como ente regulador, las empresas operadoras y los centros académicos como las universidades, para los procesos iniciales de implementación de sistemas de digitales de CNS, ya que estos enlaces promueven el desarrollo tecnológico del país, y el impacto económico se ve reducido notoriamente.
- 7 Es necesario que las empresas que cuentan con aeronaves con más de 20 años de servicio, creen un plan a corto plazo para renovar dicha flota, ya que la implementación de los sistemas digitales de comunicaciones representarían

una inversión económica muy grande, poniendo en riesgo su operatividad y por ende su existencia como empresa.

- 8 Es recomendable que la UAEAC base su programa de implementación de comunicaciones digitales VHF en el programa Link 2000+ de Euro control. Deben crearse convenios bilaterales de cooperación técnica y financiera con las autoridades Europeas y con Euro control para la capacitación del personal técnico y el grupo designado encargados de implementar el nuevo sistema de enlace de datos en Colombia.

BIBLIOGRAFIA

- LEN BUCKWALTER, Avionics Training, Systems Installations and Troubleshooting , Second Edition
- ALBERT HELFRICK, Principle of avionics, 2008, Página 270
- MORALES L., JUAN DE MATA. Sistemas CNS/ATM. Aeropuertos españoles y navegación aérea (AENA). 2001, Páginas 44, 55, 73, 77, 83,97.
- SECTRA CORPORATION ,VDL 4 Radio design.” Radio Link Design., Junio , 2000.
- ORGANIZACIÓN DE AVIACION CIVIL INTERNACIONAL, Anexo 10 Volumen 3, Capitulo 6 Pág. 392
- INSTITUTE FOR TELECOMMUNICATION SCIENCES. Requirements for an Air-Ground VHF Data Link for Air Traffic Control Applications. September 1974.
- EUROCONTROL, VDL Mode 2 Physical Layer Validation Report, 2006 Página 22
- Textos Científicos, Desplazamiento de frecuencia, Internet Junio 2008 Disponible en:
- <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/FSK>
- Textos Científicos, Desplazamiento de Fase, Internet Junio 2008 Disponible en:
- <http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/PSK>
- Buen Master, Modelo de referencia OSI, Internet Abril 2008, Disponible en:
- <http://buenmaster.com/?a=234>
- Eurocontrol,, RVSM Home, Internet Junio, Disponible en:

- <http://www.ecacnav.com/RVSM>
- Eurocontrol, EUR RVSM, Internet Mayo, Disponible en:
- http://www.eurocontrol.int/mil/public/standard_page/rvsm1
- Navigation Systems, Level 3, Internet Mayo, Disponible en:
- <http://www.allstar.fiu.edu/aero/DME.htm>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronautica Civil, Internet Mayo 3, Disponible en:
- http://www.aerocivil.gov.co/portal/page/portal/Aerocivil_Portal_Internet
- Colegio Oficial Asociación Española, Internet Marzo 3, Disponible
- <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit149/74-77.pdf>
- Wikipedia Aircraft Communication Addressing and Reporting System, Internet Marzo 5, Disponible en:
- http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_Communication_Addresssing_and_Reporting_System
- Wikipedia, Modulación por desplazamiento de frecuencia Gaussiana, Internet Junio 2008
- http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_frecuencia_gausiana
- Scandinavian Flight Operations, Internet Marzo 5, Disponible en:
- <http://www.sasflightops.com/>
- Eurocontrol, ACARS, Internet Mayo, Disponible en:
- http://www.eurocontrol.int/acars/public/subsite_homepage/homepage.html

- Flttech, Protocolos, Internet : Febrero 2008, Disponible en:
- [http://www.flttechonline.com/news/Safety\(Feb02\).asp](http://www.flttechonline.com/news/Safety(Feb02).asp)
- Advanced Aviation Technology Ltda., Global Airline Operational Communications, Internet Marzo 2008, Disponible en:
- <http://www.aatl.net/publications/global-AOC.htm>
- Parkairsystems, VDL Mode 2, Internet Mayo 2008 , Disponible en:
- <http://www.parkairsystems.com/index.asp?id=257>
- ARINC, VHF Digital Link Mode 2, Internet Mayo 2008, Disponible en:
- http://www.arinc.com/products/voice_data_comm/vdlm2.html
- Eurocontrol, VDL Mode 2 System Description, Internet Mayo 2008, Disponible en:
- http://www.eurocontrol.int/vdl2/public/standard_page/System.html
- Wikipedia, Forward Error Correction , Internet Mayo 2008, Disponible en:
- <http://es.wikipedia.org/wiki/FEC>
- RTCA, DO-224A, Signal-in-space minimum aviation system performance standards (masps) for advanced vhf digital data communications including compatibility with digital voice techniques, 2000, Páginas 70, 310, 311,
- ALOKE ROY, ACARS to VDL Transition Plan. Enero 28, 1998, Página 5.
- BOEING, Migration to VDL Mode – 2, 1998, Internet Mayo 2008, Disponible en:
- http://www.boeing.com/commercial/caft/reference/meetings/98_03_12/Vaughn.pdf
- Parkairsystems, VHF Digital Link Mode 3, Internet Mayo 2008, Disponible en:
- <http://www.parkairsystems.com/index.asp?id=274>

- NASA, Glenn Research Center, Modeling and Simulation Development Of Very High Frequency Digital Link Mode 3, Abril 29 - Mayo 2, 2002
- Parkairsystems, VHF Digital Link Mode 3, Internet Mayo 2008, Disponible en:
- <http://www.parkairsystems.com/index.asp?id=288>
- Eurocontrol, VDL4, Manual_Implementation_Chapter 3, Internet Mayo 2008, Disponible en:
- http://www.eurocontrol.int/vdl4/public/standard_page/standards.html
- Eurocontrol, VDL4, System Description , Internet Mayo 2008, Disponible en:
- http://www.eurocontrol.int/vdl4/public/standard_page/systemdescription.html
- MITRE, Air Transport Avionics Cost Estimation Related to Future Communication Transitions: Coordination Draft, Internet Mayo 2008, Disponible
- http://www.mitre.org/work/tech_papers/tech_papers_01/nickum_intelligent/index.html
- Wir Sind Umgezogen, Towards a Reliable Air Traffic Control, Internet Mayo 2008, Disponible en:
- http://ki.informatik.uni-wuerzburg.de/~kluegl/att2008/pdf/ATT_26.pdf
- Parkairsystems, PAE T6 Series, Internet Mayo 2008 , Disponible en:
- <http://www.parkairsystems.com/index.asp?id=67>
- Telerad, Serie 9000, , Internet Junio 2008 , Disponible en:
- <http://telerad.fr/details-gamme-vhf-systeme-radio-vhf-multimode-2-29.php>
- Harris, Ground Station (HGS), Internet Junio 2008 , Disponible en:
- http://download.harris.com/app/public_download.asp?fid=454
- Micronav, Simulador de Radar Y ATC, Internet Junio 2008, Disponible en:

- <http://www.micronav.co.uk/>
- Eurocontrol, LINK 2000+ Programme, Summary Report on VDL MODE 2 Deployment and Capacity Planning, Version 1.1, May 2005, Internet Disponible en:
- http://www.eurocontrol.int/link2000/public/standard_page/baseline_post_pioneer.html
- Eurocontrol, Link 2000+ Programme, CD ROM
- Eurocontrol, Entrevista vía e-mail, DELHAISE Patrick, , Mayo de 2008

ANEXOS

ANEXO A TSO-C160

ANEXO B TSO-C163

ANEXO C ENCUESTAS