



ENLACES DE DATOS EN VHF (VDL) DENTRO DEL CONTEXTO CNS/ATM PARA LA PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS DE TRÁNSITO AÉREO EN COLOMBIA

DATA LINKS IN VHF (VDL) INSIDE THE CONTEXT CNS/ATM FOR THE INSTALLMENT OF THE SERVICES OF AIR TRAFFIC IN COLOMBIA

rev.ciencia.poder.aéreo.7: 57-67, 2012

Autores
Édgar Leonardo Gómez Gómez²
Jorge Eduardo Ortiz Triviño³

Fecha de recepción: 13 de junio de 2012
Fecha de aceptación: 8 de agosto de 2012

Resumen

En este artículo se analiza el protocolo de comunicaciones por enlaces de datos en VHF (VDL), el cual, junto con técnicas de posicionamiento satelital, es uno de los pilares fundamentales dentro del concepto CNS/ATM planteado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), el cual busca la implantación de nuevas tecnologías para la prestación de los servicios de tránsito aéreo en las áreas de comunicaciones, navegación y vigilancia de aeronaves a nivel mundial. Se presenta el tipo de sistemas usados actualmente por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC) para la prestación de estos servicios en Colombia, y se hace un comparativo para establecer las ventajas que tiene la implantación de las nuevas tecnologías planteadas en el concepto CNS/ATM, teniendo en cuenta las condiciones particulares de terreno y de flujo de tránsito aéreo que presenta Colombia. Además, se presentan los proyectos de implementación de subredes basadas en enlaces de datos VDL más relevantes a nivel mundial, los cuales permiten obtener resultados de pruebas de funcionamiento, como un paso fundamental hacia la consolidación a nivel mundial de este tipo de tecnología.

Palabras clave: Enlace de datos en VHF, red de telecomunicaciones aeronáuticas, servicios de tránsito aéreo, comunicaciones aeronáuticas, vigilancia, CNS/ATM.

Abstract

This paper analyzes the VHF Data Link communications protocol (VDL), which, with global satellite positioning techniques, is one of the pillars of the CNS/ATM concept proposed by the International Civil Aviation Organization (ICAO) which seeks the implementation of new technologies to provide air traffic services in Communications, Navigation and Surveillance aircraft worldwide. It presents the systems currently used by the "Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil (UAEAC)" to provide these services in Colombia. It also makes a comparison to establish the advantages of the employment of new technologies coming from the CNS/ATM concept, taking into account the particular conditions of soil and air traffic flow in Colombia. Besides, it presents the most significant worldwide network implementation projects based on data links VDL, which permit to get operational tests results, as an essential step toward the consolidation of this type of technology.

Key words: VHF Data Link, Aeronautical Telecommunications Network, Air Traffic Services, Aeronautical Communications, Surveillance, CNS/ATM.

1. El presente artículo corresponde a una revisión del tema sobre enlaces de datos en VHF (protocolo VDL) para la prestación de servicios de telecomunicaciones aeronáuticas, y se enmarca dentro del proyecto de tesis titulado "Modelamiento y simulación de una subred de enlaces de datos en VHF - VDL, para la prestación de servicios de tránsito aéreo en Colombia", de la Maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Colombia, desarrollado por los autores del mismo.

2. Ingeniero Electrónico, Especialista en Gerencia de Proyectos de Ingeniería, Candidato a Magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones Universidad Nacional de Colombia. Ingeniero Grupo ATSEP Centro de Estudios de Ciencias Aeronáuticas U.A.E.A.C. Docente Investigador del Programa de Ingeniería Aeronáutica Fundación Universitaria Los Libertadores, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: leonardo_54@hotmail.com

3. Ingeniero de Sistemas. MSc. en Ciencias Estadísticas, Magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones, Magíster en Filosofía (c). PhD (c) en Ingeniería de Sistemas y Computación, Profesor asociado Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: jeortizt@unal.edu.co

Introducción

La infraestructura actual para la prestación del servicio de comunicaciones aire-tierra en Colombia, basada en una red VHF de alcance extendido (VHF-ER) y una transmisión de mensajes de voz modulada en amplitud (AM-DBL) (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C, 2010) resulta insuficiente para las necesidades generadas, debido al incremento sustancial del flujo de tránsito aéreo en nuestro país y en general en el mundo, lo cual se evidencia en las Tablas 5, 6 y 7 del volumen I del Plan de Navegación Aérea para Colombia (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C, 2010).

Para suplir estas limitaciones, en el Plan Nacional de Navegación Aérea presentado por la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea de la Secretaría de Sistemas Operacionales de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C, 2010), se plantea una transición a mediano plazo a tecnologías basadas en enlaces de datos, con las cuales se pueden proporcionar servicios de tránsito aéreo como vigilancia (Automatic Dependent Surveillance - ADS), comunicaciones entre piloto y controlador (Controller Pilot Data Link Communication - CPDLC), servicios de información de vuelo para las aeronaves (Data Link Flight Information Services - DFIS), y, en general, permitir intercambios de información entre los sistemas de control de tránsito aéreo ATC (Matamoros, 1999). Tecnologías de enlaces de datos como VHF Data link (VDL) Modo 2, Modo 3 y Modo 4 permiten soportar los servicios requeridos (Bretmersky, Konangi, & Kerczewski, Comparison of VDL Modes in the Aeronautical Telecommunication Network, 2001) (Bretmersky, Konangi, & Kerczewski, Comparison of VDL Modes in the terminal Domain, 2004) (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I., 2007).

Se presentará una visión general del concepto CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management) y un enfoque de los diferentes protocolos basados en tecnologías de enlaces de datos VDL, que se podrían emplear para soportar los servicios de tránsito aéreo anteriormente mencionados.

Igualmente, se presentarán los sistemas usados actualmente para la prestación de los servicios de comunicaciones de voz modulada en amplitud, navegación aérea basada en radio ayudas y vigilancia basada en radares en Colombia, con el objetivo de hacer una comparación y establecer las ventajas que conlleva la implantación de nuevas tecnologías para la prestación de los servicios de tránsito aéreo, lo cual ya se está llevando a cabo en varios lugares del mundo (EUROCONTROL, 2012) (Ray, 2012), y por lo tanto, Colombia no puede ser ajena a esta evolución tecnológica, sin desconocer que tiene unas condiciones muy particulares en su geografía y de flujo de tránsito aéreo (Kelton & Law, 2000) (Zeigler, Praehofer, & Tag, 2000).

1. Entorno Actual de los Sistemas que Soportan los Servicios de Tránsito Aéreo en Colombia.

Sistema R.A.D.A.R

Durante los últimos diez años, la cobertura de los sistemas de RADAR primario y secundario ha tenido un desarrollo importante, siendo el principal sistema con el que se realiza la vigilancia ATC sobre el espacio aéreo colombiano. La cobertura RADAR está limitada a las áreas continentales y costeras sin cobertura posible sobre las áreas oceánicas. Este es el caso para Colombia, donde un elevado porcentaje del área de la región oceánica no está dentro del área de vigilancia radar (Matamoros, 1999).

La prestación de los servicios de tránsito aéreo se debe brindar con sistemas que provean los más altos índices de calidad, disponibilidad, integridad y confiabilidad en todas aquellas estaciones aeronáuticas y aeropuertos en donde se realiza el control de tránsito aéreo (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C, 2012). Bajo esta premisa, la UAEAC inició en la década de los años 1990 la implementación de una red propia de sistemas de vigilancia aeronáutica consistentes en sensores RADAR (primario, secundario), sistemas de procesamiento, visualización de datos RADAR y sistemas de gestión en las torres de control ubicados en diferentes emplazamientos, para su explotación por parte del servicio de control de tránsito aéreo (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I., 2007). La red nacional de radares se ha venido ampliando desde principios de la década de los 90, hasta llegar a la situación actual en la cual se cuenta con 20 sistemas de vigilancia radar (11 Secondary Surveillance Radar (SSR) y 9 Primary Surveillance Radar (PSR)) instalados en el territorio nacional (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C, 2010).

Ayudas a la Navegación Aérea

La infraestructura aeronáutica de Colombia en el campo de la navegación, está basada en radio ayudas instaladas en tierra (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I., 2007). Estas proporcionan una cobertura eficiente que permite la navegación aérea segura en los sectores próximos a las aerovías. Sin embargo, con respecto al espacio aéreo total bajo la jurisdicción de Colombia; en ruta las radio ayudas presentan una distribución de baja densidad, debido a las condiciones particulares de muchos lugares del territorio colombiano, tales como: la Amazonía y la región oceánica; en donde se dificulta lograr una cobertura apropiada. La infraestructura actual de los sistemas de radio ayudas cuenta con 49 Sistemas VOR, 51 Sistemas DME (49 Asociados a los VOR + 2 Sistemas DME Independientes), 11 Sistemas ILS Y 26 Sistemas NDB (Matamoros, 1999).

La infraestructura actual de radio ayudas provee el servicio para la navegación en las diferentes fases de vuelo y está conformada por los siguientes sistemas: Los NDB (Non Directional Beacon)



proveen guía de información horizontal de no precisión indicando el rumbo a las aeronaves en las fases de ruta y aproximación. Los VOR (VHF Omni-directional Range) proveen guía de información horizontal de no precisión indicando el radial de rumbo en todas las direcciones a las aeronaves en ruta y aproximación. Los DME (Distance Measurement Equipment) proveen la distancia oblicua en millas náuticas, desde la aeronave hasta la estación en tierra. Los ILS (Instrument Landing System) proveen guía de información horizontal y vertical de precisión a las aeronaves en la fase de aproximación y aterrizaje indicando a estas la alineación con el eje de la pista y el ángulo de descenso en la aproximación a la misma. Dentro de los sistemas disponibles en Colombia se encuentran los sistemas de navegación satelital GNSS. Las aeronaves que cuentan con la aviónica de navegación GPS Básico (RAIM), pueden navegar procedimientos de no precisión en las fases de vuelo de ruta y aproximación.

Comunicaciones

El sistema móvil de comunicaciones de voz en alcance extendido VHF-ER, de la Aeronáutica Civil, es utilizado para suministrar comunicaciones de voz aire-tierra; dentro del Servicio Móvil Aeronáutico (AMS - Aeronautical Mobile Service), tanto en niveles superiores a 20.000 pies de altura para sectores de UTA, como en niveles inferiores para las CTA, de acuerdo a los requerimientos operacionales establecidos en los diferentes espacios aéreos. El sistema VHF-ER, hace uso de un grupo de estaciones remotas, las cuales permiten en su conjunto la cobertura total del espacio aéreo requerido (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C, 2010).

Con la combinación de las coberturas independientes ofrecidas por las diferentes estaciones remotas, cualquier aeronave dentro del espacio aéreo vigilado por una posición de control ATC, podrá establecer comunicación con esta, recibiendo señales de radiofrecuencia por al menos una estación. Las estaciones del sistema VHF-ER se encuentran comunicadas a las dependencias ATS servidas mediante enlaces de microondas, satélite, fibra óptica o una combinación de ellas, lográndose el 100% de cobertura sobre el espacio aéreo nacional para niveles de vuelo superiores a 20.000 pies de altura (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C, 2010). El sistema de comunicaciones móvil existente aire-tierra, tiene una limitación fundamental, la cual es, que el intercambio de información entre el avión y la unidad de ATC se restringe solamente a mensajes de voz, por medio de ondas de radiofrecuencia utilizando modulación en amplitud AM-DBL, y por consiguiente no es posible su uso para sistemas automatizados basados en enlaces de datos (Matamoras, 1999, véase también Rey, 1998).

2. Comunicaciones, Navegación y Vigilancia dentro del Concepto CNS/ATM.

En 1983, El Consejo de la Organización de Aviación Civil Internacional, OACI, determinó que los sistemas y procedimientos que brindan soporte a la aviación civil, llegaron a sus límites, y

estableció el comité especial sobre los Futuros Sistemas de Navegación Aérea (FANS). Al concluir su trabajo en 1989, el Comité FANS, determinó que sería necesario desarrollar nuevos sistemas que superaran las limitaciones de los sistemas convencionales y así lograr el desarrollo de una gestión del tránsito aéreo ATM a nivel global. En julio de 1989, el Consejo de la OACI estableció el Comité Especial para el Seguimiento y Coordinación de Desarrollo y Planificación de transición para los Futuros Sistemas de Navegación Aérea (Comité FANS Fase II). En octubre de 1993, el Comité concluyó su labor, reconociendo que la aplicación de las tecnologías relacionadas y sus beneficios se desarrollarían en un período de tiempo determinado. En septiembre de 1991, la Décima Conferencia de Navegación Aérea presentó el concepto de un sistema de navegación aérea futuro, desarrollado por los comités FANS. Este concepto, que llegó a ser conocido como el concepto CNS/ATM, implica un conjunto complejo e interrelacionado con tecnologías que dependen en gran medida de tecnología satelital y hacen uso extensivo de enlaces de datos con el fin de automatizar la Gestión del Tránsito Aéreo ATM (International Civil Aviation Organization I.C.A.O, 2012) (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I, 2011) (FANS Information Services, 2000).

Beneficios de los Sistemas CNS/ATM

Los Sistemas CNS/ATM mejoran el manejo y la transferencia de información, amplían la vigilancia y mejoran la precisión en la navegación. Esto lleva, entre otras cosas a la reducción de la separación entre aeronaves, lo que permite obtener mayor capacidad en el espacio aéreo. Avanzados sistemas CNS/ATM en tierra realizan intercambio de información directamente con los sistemas de gestión de vuelo a bordo a través de subredes de enlaces de datos en VHF. Esto beneficia a los proveedores de servicios ATM y usuarios del espacio aéreo al permitir la detección de conflictos a través de procesamientos inteligentes de información, que proveen la generación y transmisión automática, libre de conflicto de mensajes, así como también ofrece los medios para adaptarse rápidamente a las necesidades cambiantes del tránsito. Como resultado, el sistema ATM estará en mejores condiciones para acomodar el perfil de vuelo de una aeronave seleccionada y ayudará a los operadores de aeronaves a reducir los retrasos en los vuelos y los costos de operación (International Civil Aviation Organization I.C.A.O, 2012). En la Figura 1 se compilan las ventajas de la implementación de dichas tecnologías.

Vigilancia: En el concepto CNS/ATM la vigilancia se refiere al intercambio de datos aire-tierra entre computadoras que permitan desplegar la información al controlador sobre la evolución del tránsito aéreo, en una pantalla similar a la de presentación RADAR, incluso más allá del rango de cobertura de un sistema convencional. La vigilancia puede ser optimizada a través de la introducción de ADS, el cual es un sistema que mediante un enlace de datos, suministrará la información de posición de la aeronave generada por los sistemas de posicionamiento a bordo GNSS; basados en satélites de forma automática a un centro de control de tránsito aéreo, con un alto grado de precisión.

Navegación: La información sobre la localización de la aeronave es la condición básica, para que esta pueda navegar. El sistema convencional de tierra hasta ahora ha proporcionado las señales de radiofrecuencias, con las cuales el sistema a bordo puede calcular la posición en coordenadas polares (azimut, distancia y altitud), respecto a la estación en tierra. Los inconvenientes con sistemas convencionales se evidencian en la estructura rígida actual de las rutas ATS, la cual está regida por la situación geográfica donde las radio ayudas se han instalado. Con este esquema, el sistema es inflexible, tanto en términos de geografía como de rutas y capacidad. En el concepto CNS, el posicionamiento y por consiguiente la navegación, se relaciona con sistemas satelitales GNSS (Global Navigation Satellite System) y nuevos conceptos como RNAV (Area Navigation) y RNP (Requirement Navigation Performance) que involucran flexibilidad para diseñadores de procedimientos y usuarios de los espacios aéreos (Matamoras, 1999).

aéreo. Satellite Based Augmentation System (SBAS), Ground Based Augmentation System (GBAS) y Aircraft Based Augmentation System (ABAS), son tres sistemas de aumentación; propuestos a la comunidad de aviación civil, para mejorar los niveles de precisión y de integridad. Estos sistemas se orientan a mejorar la señal con dispositivos localizados o basados en satélites adicionales, en tierra o a bordo de la aeronave (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C, 2010; Matamoras, 1999).

Comunicaciones: El presente trabajo se centra en el estudio de esta parte del concepto CNS/ATM. Un enlace de datos es uno de los elementos claves junto a la tecnología satelital y automatización. De hecho, en el futuro se proporcionarán automáticamente servicios de navegación, vigilancia y servicios de información a los vuelos, datos, gráficos e imágenes; en lugar de mensajes de voz (International Civil Aviation Organization I.C.A.O, 2002)

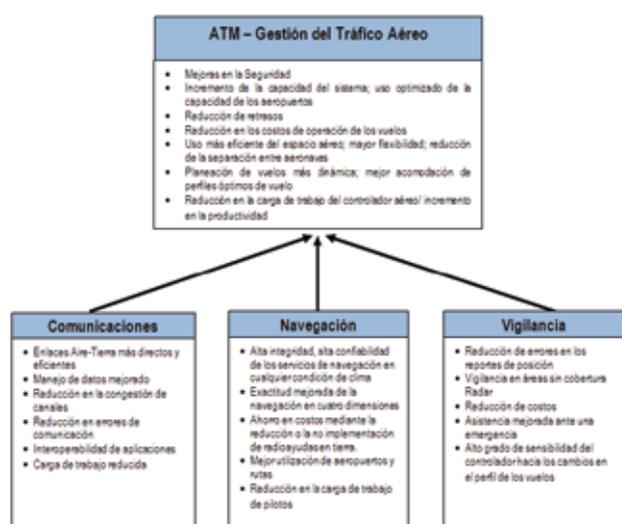


Figura 1. Beneficios de los Sistemas CNS/ATM

Fuente: International Civil Aviation Organization I.C.A.O. (2012).

Las constelaciones utilizadas para navegación satelital, GPS (Global Positioning System) de los Estados Unidos y GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), administrado por la Federación Rusa, no satisfacen por completo los requisitos específicos para la navegación en la aviación civil, en especial en aquellos procedimientos de precisión como la aproximación y aterrizaje en la pista de un aeródromo. El funcionamiento defectuoso de un satélite o interferencias aleatorias causadas por la ionósfera o fenómenos atmosféricos y espaciales, afecta a los usuarios sobre un área determinada disminuyendo los niveles de precisión y por consiguiente los niveles de seguridad operacional. Por esto, es necesario complementar los servicios que prestan estas constelaciones con elementos adicionales dentro del sistema GNSS, denominados sistemas de aumentación, los cuales tienen como objetivo aumentar la exactitud de las lecturas de posición obtenidas por una aeronave o un prestador de servicios de tránsito

Las comunicaciones por medio de enlaces de datos pueden soportar servicios como la comunicación directa entre el controlador aéreo y los pilotos, servicio que se ha denominado Controller Pilot Data Link Communication (CPDLC), el paso de datos de vigilancia dependiente automática ADS, servicios de información en vuelo para aeronaves por enlace de datos (FIS -Flight Information Services) y en general intercambios de información entre la aeronave y los sistemas de ATC. Los sistemas basados en aplicaciones de enlaces de datos mejorarán el manejo y transferencia de información entre operadores, aeronaves y unidades de servicios de tránsito aéreo ATS. Las aplicaciones harán uso de diferentes medios de comunicación tierra – aire como medios físicos de transferencia de información (Matamoras, 1999), lo cual le permitirá al piloto acceder a los diferentes servicios proporcionados por la Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas (ATN) desde la computadora que llevará a bordo de la aeronave (International Civil Aviation Organization I.C.A.O, 2002).

La Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas ATN

La red ATN es un concepto para conectar a nivel mundial, autoridades de aviación civil, aeronaves, operadores de aerolíneas, y otros miembros de la comunidad aeronáutica, cuyos estándares se basan en el modelo OSI/ISO (International Civil Aviation Organization I.C.A.O, 2007) (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I, 2001). Tiene por finalidad específica y exclusiva prestar servicios de comunicaciones de datos digitales a los organismos proveedores de servicios de tránsito aéreo, que en el caso de Colombia es la UAEAC, y a las empresas exportadoras de aeronaves, apoyando las comunicaciones con las tripulaciones, las comunicaciones entre las diferentes dependencias ATS, las comunicaciones de control de las operaciones aeronáuticas (AOC) y las comunicaciones aeronáuticas administrativas (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I, 2007).

Para prestar los servicios de comunicaciones aire-tierra, es decir entre las estaciones de control de tránsito aéreo y los pilotos



a bordo, deberá contar con subredes de enlaces de datos que le permitan tener la capacidad de soportar aplicaciones como ADS, CPDLC o FIS (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I., 2007).

Las normas y métodos recomendados que definen los protocolos y servicios mínimos requeridos para la implantación de la red ATN a nivel mundial están consignadas en las normas y métodos recomendados (SARP - Standard And Recommended Practices) generados por la OACI, en su anexo 10, el cual trata de Telecomunicaciones Aeronáuticas, más específicamente en el Capítulo 6, de la parte 1 del volumen III y las disposiciones técnicas detalladas de esta red, se encuentran en los documentos 9880, 9705 y 9869 de la OACI (International Civil Aviation Organization I.C.A.O., 2007; Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I., 2001).

Enlaces de Datos en VHF (VHF Data Link – VDL)

Los enlaces de datos en VHF conforman una subred móvil que hace parte de la red ATN y opera en la banda de VHF atribuida al móvil aeronáutico, en el cuadro de asignación del espectro de frecuencias generado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT², la cual va desde los 108 MHz hasta los 137 MHz (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I., 2007; Stacey, 2008). La subred VDL enlaza los sistemas de abordaje con sistemas de información en tierra, para establecer el intercambio de datos, de acuerdo con los requisitos de aplicaciones ATS. El concepto CNS/ATM, también prevé el uso complementario de enlaces de datos y voz para comunicaciones de ATS, donde el primero será el medio primario de comunicaciones, mientras el segundo será designado como canal de respaldo (Matamoros, 1999; International Civil Aviation Organization I.C.A.O., 2002).

Todos los aviones que usan la subred VDL, tienen la capacidad de establecer una comunicación con cualquiera de una serie de estaciones en tierra, conectadas en red en determinado espacio geográfico. La selección de frecuencias y la gestión del sistema sobre la recepción de mensajes difundidos en cada frecuencia, se realizan automáticamente de tal forma que todo el proceso de establecimiento de la comunicación es transparente para la tripulación (Higuera Villate y Salcedo Vitola, 2000; Bretmerski, Konangi, & Murawski, 2004). Un proceso de aplicación envía o recibe cadenas de datos por cualquiera de las subredes disponibles para la aeronave sin la necesidad de seleccionar una subred en particular o saber cuál de ellas es la que se está utilizando para un determinado mensaje. Estas otras subredes pueden ser el servicio móvil aeronáutico por satélite SMAS³, el enlace de datos en Modo

S⁴, el enlace de datos HF DL⁵, y los diferentes modos del VDL (International Civil Aviation Organization I.C.A.O., 2002; Nordwall, 1998; Hambly & Oishi, 1994).

El uso de radios VHF análogos para la transmisión de datos comenzó por parte de las líneas aéreas, a partir del final de la década de los 70. Los actuales equipos de abordaje VHF han sido utilizados para la transmisión de datos entre operadores y aeronaves, por medio de estaciones de tierra especiales y redes de interconexión.

El sistema Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS), el cual es un sistema de comunicaciones por medio de enlace de datos desarrollado por el fabricante (ARINC, 2011), se ha desarrollado y ha crecido considerablemente, utilizando un radio VHF, que fue diseñado para mensajes por señales de audio, lo que lo restringe a codificar datos, utilizando los tonos disponibles en las actuales comunicaciones por voz. Además, el nivel de precisión de la señal VHF, no permite que un receptor decodifique los rápidos cambios de tono; en consecuencia, el promedio de transmisión de datos está restringido a 2.400 baudios por segundo (kbps) (GREPECAS, 2012; Zheng, 2006; McGuire, 1999).

Existen cuatro variaciones del protocolo VDL para el enlace de datos en VHF, las cuales han sido denominadas VDL modo1, VDL Modo 2, VDL Modo 3 y VDL Modo 4. VDL Modo 1 es un desarrollo evolutivo del sistema ACARS con una velocidad de transmisión de datos de 2.400 baudios. Este no ha sido tenido en cuenta en ningún proceso de estandarización de la OACI, como las normas y métodos recomendados SARP establecidos en los anexos de la organización internacional, por lo tanto, así se haya diseñado para permitir el uso de equipos de radio para transmisión de datos, no es tenido en cuenta en el presente artículo.

Para los tres modos restantes se han definido normas y recomendaciones consignadas en los SARP, que se encuentran en el Capítulo VI del Anexo 10, volumen III, parte 1 de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I., (2007), en el cual se establecen las normas que son de obligatorio cumplimiento por parte de las autoridades de aviación civil en cada país a nivel mundial y las recomendaciones que no son de obligatorio cumplimiento. También, se han definido por parte de la OACI manuales de especificaciones técnicas, acerca de estos modos del VDL, los cuales están consignados en los documentos 9776, para el VDL Modo2, 9805 para el VDL Modo3 y el documento 9816 para el VDL Modo 4 (International Civil Aviation Organization I.C.A.O., 2002).

2. La Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT es una agencia especializada de las Naciones Unidas, y el órgano regulatorio por excelencia en esta materia, cuyo objetivo principal es armonizar las telecomunicaciones mundiales coordinando el desarrollo y la operatividad de las redes y servicios de telecomunicaciones.

3. Es un servicio definido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT dentro de la atribución de bandas de frecuencia del espectro electromagnético, en el cual se proporciona, mediante estaciones de satélite servicios de comunicación entre estaciones terrenas, y estaciones móviles que se encuentran a bordo de aeronaves.

4. El Modo S permite un enlace de datos aeroterrestre, indicado especialmente para los espacios aéreos de alta densidad de tránsito. También puede operar en un ambiente mixto, en donde vuelen aeronaves equipadas con respondedores de diferentes capacidades de enlace de datos.

5. HF DL (High Frequency Data Link). Enlace de datos en el cual se utiliza una portadora en la banda de HF.

Protocolo de Enlace de Datos VDL Modo 2

Este es un sistema con velocidad nominal de transferencia de datos de 31.5 Kbps, utiliza un método de Acceso CSMA (Control de Acceso Múltiple en Sentido de la Portadora), compatible con la separación entre canales de 25 khz utilizada en los radios análogos de VHF actuales. El esquema de modulación que usa es Digital 8 Phase Shift Keying (D8PSK), por lo tanto, es capaz de soportar los protocolos requeridos para diferentes aplicaciones operacionales, incrementando así significativamente el uso eficaz del canal de VHF (Matamoros, 1999).

Tanto el equipo que se instale a bordo de la aeronave para el enlace de datos en modo 2, como el equipo instalado en tierra, deben tener la capacidad de sintonizar cualquier canal en la banda de 118.0 MHz hasta 136, 975 MHz con separación de canales de 25 khz (International Civil Aviation Organization I.C.A.O, 2002; Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I, 2007; Genter, 2010).

La estandarización del VDL, Modo 2 ha hecho que el VDL Modo 1 sea obsoleto, dejando a los modos 2, 3 y 4 como los posibles sistemas a implementar para satisfacer los servicios ATS (Bretmersky, Konangi, & Kerczewski, Comparison of VDL Modes in the Aeronautical Telecommunication Network, 2001). Diferentes estudios (Bretmersky, Konangi, & Kerczewski, Comparison of VDL Modes in the Aeronautical Telecommunication Network, 2001; Bretmersky, Konangi, & Kerczewski, Comparison of VDL Modes in the terminal Domain, 2004; Kitaori, 2009; Pereira, 2003; Joong-Won, Hyoun-Kyoung, In-Kyu, Kwang-Jig, & Tae-Sik, 2009) sugieren que el VDL, Modo 2 es el sistema más eficiente para las aplicaciones ATS, por encima de los otros 3 modos, aunque todos ellos poseen diferentes características, las cuales pueden hacer que determinado modo tome una ventaja operacional sobre los otros, dependiendo de las necesidades y las condiciones de tránsito aéreo de cada país (Bretmersky, Konangi, & Kerczewski, Comparison of VDL Modes in the Aeronautical Telecommunication Network, 2001; Robinson, 2006).

Protocolo de Enlace de Datos VDL Modo 3

El objetivo del protocolo VDL Modo 3, es proporcionar la capacidad para el servicio de transferencia de voz y datos. VDL Modo 3, usa la técnica de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). Funciona a una velocidad de 31.5 Kbps y posee un esquema de modulación D8PSK. La ventaja que tiene sobre el sistema VDL Modo 2 es precisamente la capacidad de soportar sistemas de comunicación de voz; además de la transferencia de datos. El uso mejorado del espectro en VHF, se logra a través de la provisión de cuatro canales de radio separados sobre una portadora con separación entre canales de 25 khz (Matamoros, 1999; Bretmersky, Konangi, & Kerczewski, Comparison of VDL Modes in the Aeronautical Telecommunication Network, 2001). Tanto el equipo que se instale a bordo de la aeronave para el

enlace de datos en modo 3, como el equipo instalado en tierra, deben tener la capacidad de sintonizar cualquier canal en la banda de 118.0 MHz hasta 136, 975 MHz con separación de canales de 25 khz.

Para la transmisión de voz, el VDL modo 3 usa el algoritmo de codificación/decodificación a 4,8kb/s de la Excitación Multibanda Avanzada (AMBE), en su versión AMBE-ATC-10 elaborado por la empresa Digital Voice Systems Incorporated (DVS) para comunicaciones orales. Este algoritmo está sujeto a derechos de patente DVS y a derechos de autor, por lo tanto, los fabricantes de equipos deben concertar un acuerdo de licencia con DVS; antes de obtener una descripción detallada del algoritmo para incorporarlo al equipo que funcione en el servicio de enlace de datos VDL Modo 3 (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I, 2002, 2007).

Protocolo de Enlace de Datos VDL Modo 4

Transfiere datos a una velocidad de 19.2 Kbps, utiliza un esquema de modulación Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) y un método de acceso Self-organising Time Division Multiple Access (STMA). Tanto el equipo que se instale a bordo de la aeronave para el enlace de datos en modo 4, como el equipo instalado en tierra, deben tener la capacidad de sintonizar cualquier canal en la banda de 117.975 MHz hasta 137 MHz aunque OACI recomienda que también deberían funcionar en la banda de 108 MHz a 107.975 MHz y recibir dos o más canales, los cuales son de 25 khz. Además de proporcionar las funciones de comunicación de datos, también está dirigido a establecer enlaces de datos para navegación y vigilancia, según lo indicado en los SARP relativos al VDL en modo 4, debido a su capacidad de transportar datos de vigilancia dependiente automática ADS y a la posibilidad de establecer enlaces, tanto aire-tierra como aire-aire, es decir entre dos aeronaves que estén en vuelo (Matamoros, 1999) (Bretmersky, Konangi, & Kerczewski, Comparison of VDL Modes in the Aeronautical Telecommunication Network, 2001) (Xianchang, Kai, & Jun, 2006) (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I, 2007).

3. Arquitectura del Protocolo VDL

El protocolo de enlace de datos en VHF, para la subred VDL que hace parte de la Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas ATN, se trata de un enlace de datos de alta velocidad con la capacidad de transportar aproximadamente diez veces el volumen por canal de un servicio de enlaces de datos como ACARS. El sistema usa protocolos orientados a bits tal como lo especificado en el modelo de referencia para interconexión de sistemas abiertos ISO/OSI, el cual permite el desarrollo de protocolos de comunicaciones según su arquitectura constituida por siete capas funcionalmente separadas (Tanenbaum, 1996).

Las funciones de comunicaciones del protocolo VDL son compatibles con el modelo OSI para transferencia de datos y constituyen la base de una serie de protocolos completamente



compatibles con este modelo (Li, Xiong, & Yuan, 2008). El protocolo VDL, el cual se muestra en concepto en la Figura 2, permitirá comunicaciones transparentes en cuanto a códigos entre todos los sistemas que conformen la Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas ATN. Más específicamente, estas funciones serán ejecutadas en las tres capas inferiores del modelo OSI: la capa física, la capa de enlace de datos, y la capa de subred (International Civil Aviation Organization I.C.A.O, 2002; Farroha, 2002).

El uso de subredes de enlaces de datos para comunicaciones aeronáuticas incrementa la capacidad del limitado espectro de frecuencia reservado para la industria de la aviación. Con este mismo ancho de banda, se tendrá un aumento en la capacidad del sistema y un incremento en la confiabilidad de las comunicaciones, además, de los beneficios como un incremento en la seguridad operacional y el cumplimiento de los horarios por parte de las aerolíneas. La subred VDL soporta sofisticadas aplicaciones como la transmisión automática de mapas con las condiciones del clima directamente en la pantalla del piloto, dependiendo la ruta trazada en el plan de vuelo. La tarea de repetir y colacionar cada una de las instrucciones dadas al piloto, para confirmar la recepción de las mismas, se hace automáticamente con el uso de algoritmos de chequeo embebidos en el sistema VDL; de esta manera, el tiempo de transmisión de instrucciones se reduce a una fracción del tiempo requerido comparándolo con los mensajes de voz (Farroha, 2002).

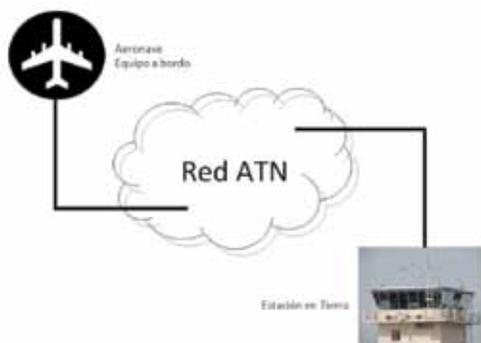


Figura 2. El concepto de la subred VDL. Fuente: Farroha (2002).

La arquitectura de la red ATN provee un esquema de direccionamiento uniforme para los componentes, tanto de tierra como de aire, el cual permite acceso y desconexión del enlace sin interrupciones, entre la aeronave y la estación en tierra. La subred VDL utiliza un ruteo dinámico, el cual le permite superar fallas y evitar la congestión en la red; con lo que se tiene un sistema redundante. En este aspecto, la subred VDL funciona como un router conectando la aeronave con la red instalada en tierra. Está diseñada para operar con niveles de interferencia o degradación mínimos, sobre los servicios, tanto de datos como de voz.

Los beneficios de cambiar las transmisiones de rutina de un sistema completamente basado en instrucciones de voz, por uno basado en transmisión de datos son la reducción de los retardos y la cantidad de pérdidas de información; además de los errores operacionales resultado de estas. Otro beneficio que trae la

implementación de una subred VDL es la reducción en la carga de trabajo del controlador aéreo y la reducción de la congestión en las frecuencias utilizadas para las comunicaciones aire-tierra-aire (Farroha, 2002).

4. Servicios de Tránsito Aéreo Soportados por Enlaces de Datos VDL

Controller-Pilot Data Link Communication (CPDLC)

Para que el piloto al mando de una aeronave pueda hacer uso de las pistas de un aeródromo, y del espacio aéreo, tanto nacional como internacional, debe comunicarse desde la cabina con una serie de estaciones en tierra; dentro de las que están la Oficina de Información Aeronáutica (OIA), la Oficina de Control de Superficie del Aeródromo, la Torre de Control, el Centro de Control del Área de Control Terminal (TMA), el Centro de Control de la Flight Information Region (FIR) en su ruta desde el aeropuerto de origen y nuevamente con cada uno de ellos, cuando se aproxima al aeropuerto de destino.

Cada uno de los enlaces que se mencionan se establece por medio de enlaces de voz modulada en amplitud AM-DSB en la banda de VHF. Las estaciones de tierra son operadas por controladores aéreos y cada una trabaja con su propia frecuencia, por lo tanto, el piloto debe conocer y sintonizar cada una de estas frecuencias durante su recorrido, desde el lugar de origen hasta su destino. Cada mensaje debe ser hablado, entendido y colacionado inmediatamente para no retrasar las operaciones con las otras aeronaves. Con tantas frecuencias transmitiéndose simultáneamente, se presentan pérdidas de tiempo, problemas de interferencia por super-heterodinación, los cuales conducen a errores de interpretación, presencia de ruido en la comunicación, mal entendimiento entre las partes, entre otros; lo cual genera riesgos en la operación causados por el sistema de comunicaciones. A esto se suma el hecho de que no todos los pilotos hablan el mismo idioma, generando así complicaciones al momento de entender ciertos mensajes.

Para minimizar estos riesgos, además de optimizar el proceso de comunicación en tiempo y en calidad, se han desarrollado tecnologías basadas en transmisión de datos como CPDLC. Con este tipo de comunicación, el controlador no tiene que hablar directamente con el piloto para darle instrucciones o algún tipo de información, sino que carga las instrucciones o los datos relacionados con el vuelo de la aeronave en una base de datos soportada en un procesador de datos de vuelo (FPD – Flight Data Procesor), el cual está conectado directamente a la red ATN y a la cual también tiene acceso el piloto desde su aeronave, por medio de la subred de enlace de datos VDL.

De esta forma, el piloto puede ver en su pantalla a bordo las instrucciones a seguir y toda la información relacionada con su plan de vuelo, acceder a ella nuevamente en cualquier momento y hasta imprimirla. Esto reduce la cantidad de trabajo del controlador

y aumenta la calidad de los datos recibidos por parte del piloto (Swickard, 2006; Bretmersky, Murawski, Nguyen, & Raghavan, 2004).

Esta aplicación abarca las comunicaciones que actualmente se realizan por medio de voz modulada en amplitud AM-DSB y, por lo tanto, los mensajes CPDLC, corresponden a la fraseología utilizada en radiotelefonía. Se proporciona al personal ATS la capacidad de responder a los mensajes, incluidas las emergencias, expedir autorizaciones, instrucciones, asesoramiento, solicitar y proporcionar información, según corresponda. Se proporciona a los pilotos la capacidad de responder los mensajes, solicitar autorizaciones e información, notificar información y declarar o cancelar emergencias; así como la capacidad de intercambiar mensajes que no se conforman a los formatos definidos (es decir, mensajes de texto libre). Las disposiciones técnicas y los detalles específicos acerca de esta aplicación se encuentran en el documento 9880 de la OACI (International Civil Aviation Organization I.C.A.O, 2007).

Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B)

El ADS-B es un medio mediante el cual las aeronaves, vehículos de aeródromo y otros objetos pueden automáticamente transmitir y/o recibir datos, tales como identificación, posición en cuatro dimensiones y datos procedentes de los sistemas de navegación y de los sistemas de determinación de posición, difundidos o enviados a través de un enlace digital (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I, 2007). Mejora considerablemente la calidad de la información sobre los sistemas de RADAR basados en tierra, por lo cual es la tecnología llamada a reemplazar este tipo de sistema de vigilancia.

El ADS-B es automático porque no hay estímulo externo requerido, es dependiente porque se basa en las fuentes de posición y de radiodifusión de abordo para proveer información de vigilancia a terceros. Finalmente, los datos son transmitidos, el originador no tiene conocimiento de quién recibe y usa los datos y no hay contrato de reciprocidad o interrogación (International Civil Aviation Organization I.C.A.O, 2004). Las disposiciones técnicas y los detalles específicos acerca de esta aplicación se encuentran en el documento 9705 de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I, 2001).

Data Link Flight Information Services (DFIS)

El sistema DFIS, le permite a un piloto pedir y recibir información del vuelo de los sistemas en tierra, mediante un enlace de datos. Mucha de esta información se proporciona actualmente a pilotos vía transmisión de radio mediante mensajes de voz, como por ejemplo, los informes meteorológicos. Las ventajas que ofrece este sistema son las posibilidades de realizar transmisiones libres de error, datos digitales impresos para el piloto, rango ilimitado para recepción de los datos, entre otras. Los servicios DFIS incluyen: Servicios Automáticos de Información

de Terminales (ATIS), Servicios de Reportes Periódicos del Tiempo para la Aviación (METAR), Servicio de Tiempo en Terminales (TW), Servicio de prevención de vientos cruzados, Servicio de reportes al piloto y Noticias para hombres del aire NOTAM (Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I, 2001).

5. Proyectos de Implementación de Enlaces de Datos para Servicios Aeronáuticos Alrededor del Mundo

Programa Link 2000 + de EUROCONTROL

La Organización Europea para la seguridad de la Navegación Aérea EUROCONTROL, fundada en el año de 1960 en Bruselas (Bélgica), es una organización civil y militar, integrada por 38 miembros, tiene por misión el desarrollo seguro, eficaz y coordinado del tráfico aéreo europeo (EUROCONTROL, 2012). El 16 de enero de 2009 se publicó en el Diario Oficial de la Unión Europea, la norma para la Implementación de Servicios sobre Enlaces de Datos (Data link Services Implementing Rule –DLS IR) dentro del marco del Programa Link 2000+, con la cual se busca establecer los requerimientos para la introducción coordinada dentro del espacio aéreo controlado de Europa, de los servicios de enlace de datos basado en comunicaciones de datos punto a punto / aire-tierra que hacen referencia a la comunicación de dos vías, entre una aeronave y una estación terrena (The Commission of the European Communities Eurocontrol, 2009) (EUROCONTROL, 2012) .

El Programa Link 2000+ de EUROCONTROL, envuelve un primer conjunto de servicios de comunicación CPDLC, en ruta para su implementación en el espacio aéreo Europeo, usando la ATN y el VDL en Modo 2. Este programa implementa tres servicios básicos que buscan automatizar las tareas de rutina, las cuales ocupan el 50% del tiempo de los controladores, además de proveer un incremento de 11% en su capacidad de trabajo. Estos servicios son: ACM (Administración de la Comunicaciones ATC), el cual permite manejar adecuadamente los cambios de frecuencias de comunicación, ACL (Autorizaciones ATC), para proveer mensajes estándar de autorización, y AMC (Chequeo de micrófonos ATC), para establecer la comunicación en caso de tener las frecuencias bloqueadas (EUROCONTROL, 2002, 2012).

Programa de Comunicaciones de Datos de la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos – FAA

La FAA, agencia perteneciente al Departamento de Transporte de los Estados Unidos, es la autoridad nacional de aviación, la cual está encargada de regular y supervisar todos los aspectos de la aviación civil de ese país (Federal Aviation Administration FAA, 2012). Actualmente se encuentra desarrollando el programa “Data Communications Program (Data Comm)”, el cual, como se menciona en su página oficial de internet, es una parte clave



en la primera fase para la transición de los actuales sistemas de comunicaciones análogos aire – tierra basado solamente en voz, a un sistema, en el cual las comunicaciones digitales llegan a ser un modo de comunicación alterno y eventualmente predominante, con las normas de la Organización de Aviación Civil Internacional OACI (Federal Aviation Administration, 2012; Schofield, 2005).

El Programa Data Comm, busca proveer un enlace de datos de dos vías, entre controladores aéreos y las tripulaciones de las aeronaves, contribuyendo significativamente con el incremento de eficiencia, capacidad y seguridad en el espacio aéreo nacional de los Estados Unidos. La evolución del programa Data Comm en el entorno operacional, estará basada en la implementación gradual de avanzadas capacidades de transmisión de datos.

La visión de la FAA con respecto a este cambio de paradigma en el control de tráfico aéreo, es que se haya completado en el año 2025; para lo cual se hace necesario que los sistemas sean capaces de manejar el incremento proyectado en el tráfico aéreo para las próximas dos décadas, esto depende solamente de la eficiencia de transmisión de datos entre las aeronaves y las estaciones terrenas para la administración del tráfico aéreo (Federal Aviation Administration FAA, 2012). Tanto para los servicios de comunicación dentro del aeródromo, como para los servicios en ruta, el programa busca inicialmente soportar sistemas de enlaces de datos sobre VHF Data Link en Modo 2.

La infraestructura en tierra será subsecuentemente actualizada para proveer soporte a la Red de Telecomunicaciones Aeronáuticas ATN sobre servicios VDL-2 (Air Traffic Organization Office of FAA, 2008).

Los servicios contemplados dentro del Programa Data Comm a implementar inicialmente son (Ray, 2012)

Departure Clearances (DCL), Transfer of Communications Service (TOC), Initial Check – in Service (IC), Crossing Restrictions and Altimeter Setting Service (AS), estado de aeródromos, retardos, limitaciones y estado del clima enviado directamente al computador a bordo para la tripulación de vuelo, servicios Taxi-in / Taxi-out, el cual provee las rutas a seguir por las aeronaves desde la puerta de embarque hasta la pista principal (Fluhr, Gangl, & Gruber, 2008).

Se tiene planeado realizar en el año 2012, un ensayo al cual se le ha denominado “Revised Departure Clearance (DCL) Trials – 2012”, en el cual se estarán haciendo ejercicios enfocados en procedimientos DCL y CRD. Estas pruebas iniciales han sido preparadas y coordinadas por el grupo “Data Comm Implementation Team (DCIT)” dentro del cual participan activamente la FAA, en representación del Estado, y empresas privadas, tales como Boeing, Thales, American Airlines, Sensis Corporation, Continental Airlines, Delta Airlines, Federal Express y United Airlines (Federal Aviation Administration FAA, 2012).

Conclusiones

Según lo plantea la Organización de Aviación Civil Internacional OACI, a través del comité FANS y su concepto CNS/ATM, las telecomunicaciones basadas en enlaces de datos son uno de los pilares fundamentales para los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia del futuro.

La revisión del estado del arte planteada en este artículo con respecto al tema, puede tomarse como base para el desarrollo de proyectos de simulación e implementación de redes, basadas en enlaces de datos, que contribuyan a la ampliación del conocimiento existente sobre las mismas y a obtener resultados satisfactorios en su posterior implementación.

La transición a tecnologías de comunicaciones basadas en enlaces de datos a nivel mundial es inminente. Como se puede evidenciar en el presente artículo, su implementación va a depender en gran medida de las condiciones específicas a nivel local, es por esto que se hace necesario estudiar las condiciones particulares de cada estado o determinado espacio aéreo, con el fin de realizar una implementación acertada y eficiente de este tipo de subred de comunicaciones.

El estudio de las características de los enlaces de datos en VHF, aplicados a la aviación, tanto civil como militar, cobra gran importancia en un país como Colombia, donde se ha planteado por parte de la Autoridad de Aviación Civil, la UAEAC, una transición a mediano plazo a este tipo de tecnología, en su Plan Nacional de Aeronavegabilidad, sin que se hayan realizado hasta el momento programas de implementación similares al Data Communications Program de la FAA, o el Link 2000+ de EUROCONTROL.

Este artículo, es un primer avance hacia el entendimiento de los enlaces de datos, vistos desde la perspectiva de la prestación de servicios de navegación aérea en Colombia, y de la infraestructura con la que cuenta actualmente el país de cara al cambio de tecnología, que ya se encuentra avanzando a grandes pasos a nivel mundial.

Este artículo de revisión, servirá como la base para el desarrollo por parte de los mismos autores, de un proyecto de simulación de una subred, basada en protocolos de enlaces de datos para la prestación de servicios de tránsito aéreo en Colombia; donde se incluirán condiciones específicas, tanto de flujo de tránsito aéreo como de terreno y espacio aéreo propios de este país; con el cual se buscará crear escenarios que tengan la capacidad de responder a la pregunta “¿Qué tal si...?”, de tal forma que la autoridad de aviación civil pueda basarse en los resultados obtenidos para tomar decisiones con respecto a la implementación de sistemas de telecomunicaciones, navegación y vigilancia basados en enlaces de datos en VHF.

Referencias

- Air Traffic Organization Office of FAA. (2008). *Federal Aviation Administration FAA*. Recuperado el 2008, de Avionics Discussion, Data Communication Program: www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/atc_comms_services/datacomm/
- ARINC. (2011). *The ARINC Website*. Recuperado el 2011, de The ARINC Website: <http://www.arinc.com>
- Bretmerski, S. C., Konangi, V. K., & Murawski, R. W. (2004). *Evaluation of VDL modes in the en route domain*. Cleveland, Ohio, USA: Dept of Electronic & Computing, Cleveland State University.
- Bretmersky, S. C., Murawski, R., Nguyen, T. C., & Raghavan, R. S. (2004). Simulation of Controller Pilot Data Link Communications over VHF Digital link Mode 3. *RECON No 20040139254. Proceedings of the Fourth Integrated Communications, Navigation and Surveillance (ICNS) Conference and Workshop*. Cleveland: Aerospace & High Technology.
- Bretmersky, S., Konangi, V. K., & Kerczewski, R. J. (2001). Comparison of VDL Modes in the Aeronautical Telecommunication Network. *NASA Glenn Research Center*.
- Bretmersky, S., Konangi, V. K., & Kerczewski, R. J. (2004). Comparison of VDL Modes in the terminal Domain. *Cleveland State University*.
- EUROCONTROL. (2002). Eurocontrol LINK 2000+ Adopts Standards for Data Link. *ATC Market Report* (17), 5.
- _____ (2012). *Official Web Site Eurocontrol*. Recuperado Official Web Site Eurocontrol: www.eurocontrol.int/content/about-us
- _____ (07 de febrero de 2012). Página oficial del programa EUROCONTROL LINK 200+. Recuperado en el mes de febrero de 2012. Disponible en www.eurocontrol.int/link2000/public/standard_page/overview.html
- _____ (2012). *Página Oficial del Programa link 2000+*. Recuperado el 07 de febrero de 2012, de Preguntas frecuentes acerca de la DLS IR: www.eurocontrol.int/link2000/public/faq/faq_dlsir.html.
- FANS Information Services. (2000). *ATN Seminar*.
- Farroha, B. (2002). *Next Generation Data link Air Traffic Technology International*. UK & International Press.
- Federal Aviation Administration FAA. (09 de febrero de 2012). *Official Web Site of Federal Aviation Administration FAA*. Recuperado el 09 de febrero de 2012, de Página Oficial de la FAA: www.faa.gov/about/.
- Federal Aviation Administration. (2012). *Regulation DTFAWA - 11 - R-00022 Part 1 Section J-2 Avionics Equipage*. Recuperado el 2012, de Data Communications Avionics Equipage Initiative: http://faaco.faa.gov/attachments/20110708_DDIS_SIR_Sec_J-2_Avionics_Equipage_v15_9.doc.
- Fuhr, H., Gangl, S., & Gruber, M. (2008). EDA Toolbox for ZVHF Data link System Simulation. *Aerospace Science and Technology* (8), 599-607.
- Genter, W. (2010). *Analysis of temporal impairments on airborne VDL mode 2 packet reception*. Herndon, VA, USA.
- GREPECAS. (2012). *Grupo de tarea de recursos humanos y capacitación del subgrupo CNS/ATM/IC del GREPECAS OACI*. Recuperado el 2012, de Manual guía para la capacitación de recursos humanos sobre los sistemas CNS/ATM: <http://legacy.icao.int/icao/en/ro/nacc/meetings/2002dcacar1/cardca1-ne16APNa.pdf>
- Hambly, R., & Oishi, R. T. (1994). Aircraft traffic management on the airport surface using VHF data link for CNS. *AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference*. Pp. 534-538. Phoenix: New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Higuera Villate, M., y Salcedo Vitola, F. (2000). *Estudio de factibilidad para la implementación del servicio aeronáutico CPDLC utilizando como medio de comunicación el enlace digital VHF (VDL)*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- International Civil Aviation Organization I.C.A.O. (2012). *CNS-ATM Systems*. Recuperado el 2012, de <http://www.icao.int/icao/en/ro/rio/execsum.pdf>
- International Civil Aviation Organization I.C.A.O. (2004). *Eight meeting of the Communications/Navigation/Surveillance and Meteorology Sub group of APANPIRG*. Recuperado el 2004, de Universal Access Transceiver (UAT) use for ADS-B: www.icao.int/icao/en/ro/apac/2004/cnsmet_sg8/ip15.pdf
- International Civil Aviation Organization I.C.A.O. (2007). *Manual on Detailed Technical Specifications for the Aeronautical Telecommunication Network (ATN) using ISO/OSI standards and protocols, Doc 9880*. Canada.
- International Civil Aviation Organization I.C.A.O. (2002). *Manual on VHF digital Link (VDL) mode 2, Doc 9776*. Canada.
- International Civil Aviation Organization I.C.A.O. (2002). *Manual on VHF digital link (VDL) mode 3, DOC 9805*. Montreal, Canada.
- International Civil Aviation Organization I.C.A.O. (2002). *Manual on VHF digital link (VDL) mode 4, DOC 9816*. Montreal, Canada.
- Joong-Won, B., Hyoun-Kyoung, K., In-Kyu, K., Kwang-Ilg, Y., & Tae-Sik, K. (2009). *Development of prototype VDL mode 2 system in Korea*. Korea Aerospace Research Institute.
- Kelton, W. D., & Law, A. M. (2000). *Simulation Modeling and Analysis* (Third ed.). Cincinnati, Ohio, USA: Mc Graw hill.
- Kitaori, J. (2009). A performance comparison between VDL mode 2 and VHF ACARS by protocol simulator. *Electronic Navigation Research Institute*.

- Li, Y., Xiong, J., & Yuan, Y. (2008). Handoff Design in VHF/UHF air-ground data Link system. *Dianxun Jishu/ Telecommunications Engineering* (2), 73-76.
- Matamoros, H. (1999). *Estudio de CNS para Colombia*. Francia: Ecole Nationale de l'Aviation Civile E.N.A.C.
- McGuire, R. L. (1999). VHF Data link. A demonstration using the ACARS protocol. *Gateway to the new millenium; Proceedings of the 18th Digital Avionics System Conference (DASC)*. Pp. 5.C.6-1 to 5.C.6-5). Saint Louis: Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.
- Nordwall, B. D. (1998). Airlines pushed to buy new VHF Data link. *Aviation Week & Space technology* (4), 35.
- Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I. (2007). *Anexo 10, Telecomunicaciones Aeronáuticas* (Segunda ed., Vol. Volumen III). Canadá.
- Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I. (2007). *Anexo 10: Radio ayudas para la navegación* (Vol. 1). Canadá.
- Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I. (2007). *Anexo 10: Sistema de radar de vigilancia y sistema anti colisión* (Vol. 4). Canadá.
- Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I. (2001). *Manual de disposiciones técnicas de la red de telecomunicaciones aeronáuticas ATN*, Doc 9705. Canadá.
- Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I. (2001). *Manual de especificaciones técnicas detalladas para la ATN normas y protocolos IPS*, Doc 9896. Canadá.
- Organización de Aviación Civil Internacional O.A.C.I. (2011). *Sistemas CNS/ATM de la OACI*. Recuperado el 2011, de GREPECAS: <http://www.lima.icao.int/meetprog/2003/HRTS/SISTEMAS%20CNSATM.pdf>
- Pereira, M. S. (2003). Commercial aviation VDL chioces. *Westminster*.
- Ray, O. (2012). *FAA Data Comm Program Office, North Star Group*. Recuperado el 2012, de Data Communication Program Overview: www.afceaboston.com/documents/events/cnsatm2011/Briefs/04-Thursday/Thursday-AM/05-Orie_DataCommunicationsProgram.pdf
- Rey, E. (1998). *Telecomunicaciones Móviles* (Segunda Edición ed.). Barcelona, España: Marcombo Editores.
- Robinson, D. C. (2006). *Dual Purpose simulation new data link test and comparison with VDL 2*. Cleveland: National Aeronautics and Space Administration. Glenn Research Center.
- Schofield, A. (2005). DFS Strikes Deal To Buy VHF Data Link Network. *Aviation Daily* (23), 5.
- Stacey, D. (2008). *Aeronautical Radio Communication Systems and Networks*. United Kingdom: Wiley.
- Swickard, J. E. (2006). ARINC Launches VHF Fata Link services in India. *Business & Commercial Aviation* (1), 95.
- Tanembbaum, A. S. (1996). *Redes de computadoras* (Tercera ed.). México: Pearson.
- Tha Commission of the European Communities Eurocontrol. (2009). *Reglamento para la implementación de servicios de Enlace de datos DLS IR*. Recuperado el 2009, de Official Journal of the European Union - Reglamento (EC) No 29/2009: eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:013:0003:0019:EN:PDF
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C. (2010). *Plan de Navegación Aérea para Colombia Volumen I: Requerimientos operacionales*. Bogotá.
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C. (2010). *Plan de Navegación Aérea para Colombia Volumen II: Instalaciones y Servicios*. Bogotá.
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil U.A.E.A.C. (20120). *Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC*. Bogotá.
- Xianchang, L., Kai, L., & Jun, Z. (2006). An improved long transmission protocol for VDL mode 4. *School of Electronics and Information Engineering*.
- Zeigler, B. P., Praehofer, H., & Tag, G. K. (2000). *Theory of modelling and simulation* (Second Edition ed.). United States: Academic Press.
- Zheng, H. (2006). *Migration from ACARS to new VHF data Link in China*. Beijing: University of Aeronautics & Astronautics.