

MODERNIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y NAVEGACIÓN DEL HELICÓPTERO MI-171E RUSO

Aldo Capelo Badillo¹, Danilo Corral De Witt²

1 Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército, Sangolquí. Ecuador

2 Departamento de Eléctrica y Electrónica, ESPE. Sangolquí. Ecuador

aldogrivaldy2005@hotmail.com; drcorral@espe.edu.ec

Resumen: Existe un creciente interés por mejorar y optimizar la seguridad de las aeronaves que cumplen misiones de transporte de personal, suministros y trabajos específicos en Fuerzas Armadas. La falta de equipo e instrumentos que mejoren la seguridad de vuelo y el empleo de los actuales sistemas de comunicación y navegación con prestaciones mínimas y desactualizados en las aeronaves ponen en riesgo las operaciones y las vidas humanas que se encuentran involucradas en su operación diaria.

El presente artículo reúne los resultados de la investigación, planificación e implementación de un sistema de comunicación y navegación (COM-NAV) de cuarta generación en un helicóptero MI 171E Ruso con equipos y tecnología norteamericana.

Para ello se realizó el diseño de la solución específica para el helicóptero, basado en el Estudio de ingeniería elaborado con el soporte de las casas fabricantes, se ejecutaron los trabajos planteados en la solución diseñada y finalmente se realizaron las pruebas de campo y los vuelos de verificación de la operatividad del sistema.

Los resultados permitieron comprobar el desempeño del sistema implementado integrando varios equipos de comunicación y navegación de fabricación norteamericana, proporcionando de esta manera una solución a los problemas mencionados, obteniendo como resultado una aeronave en condiciones de realizar vuelo instrumental (IFR) y/o nocturno.

Palabras Clave: Sistemas de COM-NAV, Modernización, Helicóptero MI 171E Ruso, Vuelo instrumental IFR.

Abstract: There is a growing interest in improving and optimizing the safety of aircraft meeting personnel transport missions, supplies and specific jobs in the Armed Forces. Lack of equipment and tools to improve flight safety and the use of existing communication and navigation systems with minimum benefits and outdated to endanger aircraft operations and human lives that are involved in its daily operations.

This paper brings together the results of research, planning and implementation of a communication and navigation system (COM-NAV) fourth generation in a Russian helicopter MI 171E with U.S. equipment and technology.

This was achieved by designing the specific solution for the helicopter, based on the engineering study prepared with the support of the houses manufacturers, raised work

were implemented in the solution designed and finally conducted field tests and flights verification of system operability.

The results could check the system performance by integrating various communication and navigation equipment American-made, thus providing a solution to these problems, resulting in an aircraft capable of performing instrument flight (IFR).

Key words: COM-NAV systems, Modernization, 171E Russian Helicopter MI, IFR Instrument flight.

I. Introducción

La Fuerza Terrestre a través de la Brigada de Aviación del Ejército No. 15 “PAQUISHA”, tiene la misión de planificar y ejecutar operaciones aéreas en todo el territorio nacional; para lo cual es prioritario mantener operables sus helicópteros y así cumplir con las tareas encomendadas. Actualmente dispone de 2 helicópteros MI171E nuevos, de fabricación rusa, adquiridos a finales del año 2010, los cuales disponen de sistemas de comunicación y navegación básicos para condiciones de vuelo visual VFR (Visual Flight Rules) y no para condiciones de vuelo instrumental IFR (Instrumental Flight Rules), las aeronaves cuentan también con sistemas de navegación y comunicación básicos como Brújula Magnética y Radio VHF Orlan, lo que ha limitado su utilización y empleo en condiciones climatológicas extremas, constituyendo un factor de riesgo en las operaciones que realiza.

Al modernizar los sistemas de comunicación y navegación de los helicópteros MI-171E, se está en condiciones de realizar vuelos VFR / IFR, bajo las normas de aeronavegabilidad y seguridad vigentes. Este proyecto, permite mantener en condición segura de operación y aeronavegabilidad a los helicópteros MI-171E por un período estimado de diez años. Marcando así el inicio de este tipo de actividades de mantenimiento y actualización de aeronaves en la 15 BAE “PAQUISHA” y en el país, con la participación de técnicos e ingenieros exclusivamente ecuatorianos.

Para la modernización, se emplea instrumentos y equipamiento que cumplen con el estándar ARINC (Aeronautic Radio Incorporated), el mismo que permite la interoperabilidad entre dispositivos de aviación, cumpliendo con todos los parámetros establecidos por la FAA (Federal Aviation Administration) para una comunicación y navegación segura de la aeronave. Además se elaboró el Estudio de Ingeniería [1] que contempla el cumplimiento de todo lo relacionando a modificaciones estructurales, eléctricas, de conectividad y de procedimiento en los sistemas de comunicación y navegación para el Helicóptero MI 171E bajo la norma OACI¹, considerando variables como el diseño de aeronave, la seguridad de vuelo y los sistemas de COM-NAV actuales.

En la orden de ingeniería realizada, están registradas todas las cartas de trabajo y los formularios de seguimiento y cumplimiento ejecutados, además la verificación en cada fase a lo largo de la ejecución del proyecto por parte del Departamento de Control y Aseguramiento de la Calidad.

¹ OACI.- Organización de Aviación Civil International

Como contribuciones que aporta este proyecto de investigación y ejecución se puede decir que:

- a) Es posible modernizar los sistemas de comunicación y navegación del helicóptero MI-171E Ruso con tecnología norteamericana y técnicos ecuatorianos.
- b) Se demostró que existe instrumentación disponible y adecuada para comunicación y navegación aérea, que es compatible con los sistemas actuales de la aeronave.
- c) Se comprobó que los protocolos de comunicación del instrumental y equipos a implementarse, son compatibles con el sistema original de la aeronave.
- d) Finalmente se demostró que la modernización de los sistemas de comunicación y navegación, no afectaron al diseño estructural, eléctrico y electrónico actual de la aeronave.

II. Normativa para la modernización de los sistemas de comunicación y navegación para el helicóptero MI 171E Ruso

Para llevar a cabo la modernización del helicóptero MI 171E, se realizó el análisis de los protocolos de comunicación que maneja la aeronave y que se aplican a los equipos que se implementaron, al mismo tiempo se elaboró el Estudio Técnico respectivo [1] bajo normas OACI que regulan cualquier tipo de modificación estructural o de sistemas a la configuración de una aeronave [2] [3]. Se determinaron los equipos a emplearse en base a factores como entorno, fiabilidad, costo y aplicabilidad. Esta aeronave en su ficha de matrícula original registra solo una radio como medio de comunicación y un ADF (radio ayuda) como medio de navegación.

a) *Protocolo estándar de Aviación ARINC.*

Aeronautical Radio Incorporated (ARINC), creado en 1929, es el proveedor que lidera las comunicaciones de sistemas de transporte y soluciones de ingeniería para las cinco industrias principales: aviación, aeropuertos, defensa, gobierno y transporte. Este tipo de protocolo estándar, a su vez se subdivide en: ARINC-429, 561, 575, 664, 708 y MIL-STD-1553.

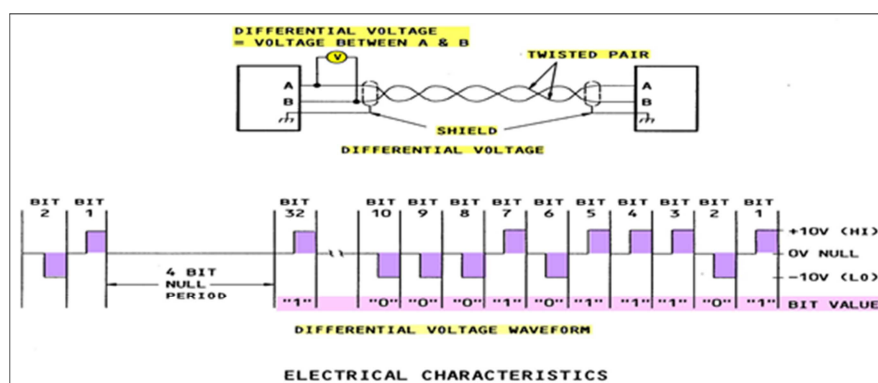


Figura 1. Protocolo ARINC 429²

² www.expertsmind.com/arinc-429

ARINC-429 es el protocolo más común de aviónica estándar, utilizado por todos los aviones y helicópteros Airbus y Boeing, en él se proporciona una descripción de las funciones y las interfaces físicas y eléctricas de apoyo para el sistema de transferencia de información digital [4] [5]. Es similar a la norma ARINC-561 y se basa en la norma ARINC-575. Los mensajes constan de una sola palabra de datos, 32 bits de longitud, como se observa en la figura 1.

b) *Norma OACI para modificaciones en aeronaves.*

La información contenida en la RDAC 043 del Ecuador [6] y las normas establecidas por la OACI art 37 anexo 6 en lo relacionado a modificaciones o alteraciones que se pretendan realizar al diseño original de una aeronave, y no afecten la aeronavegabilidad contempla que los Estudios Técnicos de Ingeniería deben ser entregados como primer paso a seguir para una modificación a la configuración original de una aeronave, estos a su vez deben ser aprobados por el Departamento de Aseguramiento de la Calidad de la entidad usuaria, y firmados por un ingeniero aeronáutico como máxima autoridad para permitir la aeronavegabilidad de la aeronave, solo ahí es posible la aplicación de la modificación.

Este documento debe contener entre otros, dependiendo de la modificación, una tabla de contenido, razón de la modificación o alteración, referencias técnicas, materiales y sus características, análisis de peso y balance, análisis de cargas eléctricas, análisis estructural, reportes de pruebas, diagramas de instalación, suplementos a los sistemas afectados, suplementos de vuelo para los pilotos y vuelos de prueba si aplica.

III. Diseño e implementación del proyecto.

El helicóptero MI 171E cuando fue adquirido en el año 2010, en la configuración inicial poseía el panel de instrumentos como se observa en la figura 2, es decir con los instrumentos analógicos básicos para la aeronavegación visual.



Figura 2. Configuración inicial del Helicóptero

Para la implementación del proyecto se utilizó los siguientes equipos: pantallas duales GARMIN G500H, navegador ILS-VOR-GPS-IFR-VHF-GARMIN GNS-

430AW, radar GWX-68, transponder modo S GTX-330, caja de control de audio KMA 28, ADF KR.87, intercomunicador de audio PS PM3000 y localizador de emergencia C406-NHM.

Estos equipos fueron elegidos luego de un análisis de su entorno, su fiabilidad, costos y compatibilidad con la aeronave.

Luego del respectivo análisis se pudo determinar que los equipos del fabricante GARMIN, presentan mayor fiabilidad con el paso del tiempo, es decir que el equipo se adapta de mejor manera al sistema de la aeronave.

En lo que respecta a costos de los equipos de la línea GARMIN, no resultan ser de los más económicos pero son aquellos que en base a los parámetros considerados, justifican su adquisición y se adaptan a la performance original de la aeronave.

El diseño esquemático de la solución tecnológica planteada es el que se muestra en la figura 3. La interconexión de los equipos en la aeronave se encuentra establecida de acuerdo a criterios netamente técnicos y aeronáuticos.

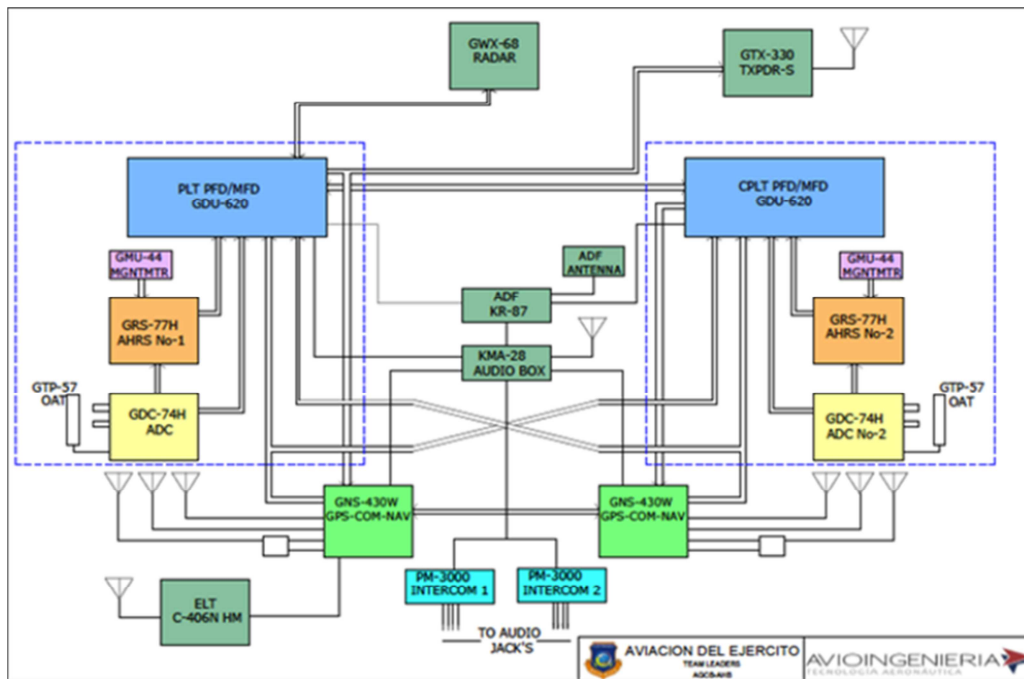


Figura 3. Diagrama de interconexión implementado

A continuación se resume la función que realiza cada uno de los dispositivos que forman parte de la solución ejecutada.

GDU 620 tiene dos pantallas VGA (640 X 480 pixeles) de 6,5 pulgadas LCD, al lado izquierdo de la GDU se encuentra la pantalla primaria de vuelo o PFD, al lado derecho se encuentra la pantalla multifunción o MFD.

En la PFD se muestra información primaria de vuelo como pitch, roll, rata de banqueo, rumbo, velocidad, velocidad vertical, desviación vertical y de curso, HSI³,

³ HSI.- Indicador de situación Horizontal.

RMI⁴ y ADI⁵. En la MFD se puede visualizar información, cartas de navegación, información del plan de vuelo, tráfico, radar y advertencia de terreno.

Es un sistema de arquitectura abierta que usa las siguientes interfaces: ARINC 429: Ocho puertos de entrada y cuatro puertos de salida; RS 232: Ocho puertos de entrada o salida; RS – 422 / RS – 485: 4 puertos bidireccionales para Tx y Rx; Ethernet: 2 puertos bidireccionales para Tx y Rx; entradas y salidas discretas: 10 entradas discretas, 8 activadas como bajos y 2 activadas como altos; entradas ARINC 453 / 708: 2 entradas que permiten la comunicación con el radar meteorológico y el TAWS⁶.

AHRS GRS 77H es una unidad de referencia de actitud y rumbo, la cual provee a la GDU 620 las características de actitud y vuelo de la aeronave, esta unidad posee sensores de tilt, rate y acelerómetros. Tiene una interfaz con el GDC 74A (Air Data Computer), el Magnetómetro y el GPS WAAS⁷ Navigator. La información se envía mediante el protocolo ARINC 429. El GRS 77 suministra la información de: Heading, pitch y roll, Rata de Yaw, pitch y roll, Aircraft body-axis accelerations, Ratas de cambio de heading, pitch y roll y Aceleraciones de la aeronave expresadas en un marco local de referencia.

El rango de voltaje de operación es de 10 a 33 voltios DC. Suministra rangos operativos de voltaje al GMU44 (magnetómetro). El GRS 77H⁸ tiene las mismas funciones y capacidades del GRS 77, pero tiene una mayor capacidad de vibración y la compatibilidad con el vuelo de helicópteros

GMU 44 (Magnetómetro) censa información de campo magnético, estos datos son enviados a GRS 77H AHRS para procesar y determinar el rumbo magnético de la aeronave, recibe alimentación directa del GRS 77H y mantiene comunicación con este utilizando el protocolo RS 485. Suministra información magnética que soporta funciones del GRS77H.

GDC 74A (Air Data Computer) recibe información de los sistemas pitostáticos y de la sonda de temperatura atmosférica externa, es el encargado de proveer al sistema G500H datos de altura, velocidad, velocidad vertical y temperatura atmosférica externa, provee información al GDU 620 y GRS 77H usando una interface digital ARINC 429. Proporciona la siguiente información: Temperatura del aire, presión estática corregida, densidad, altitud, impacto de presión no corregida, velocidad indicada, número mach, presión de altitud, presión total, velocidad verdadera, velocidad vertical.

TRANSPONDER GTX330 Modo S es un transmisor-receptor de ondas de radio que opera en frecuencias de radar. Recibe ondas de radares de tierra o interrogaciones de TCAS⁹ en frecuencia de 1030 MHz y transmite pulsos de respuesta codificados hacia el radar de tierra o hacia el TCAS de otras aeronaves en una frecuencia de 1090 MHz.

⁴ RMI.- Indicador Radio Magnético.

⁵ ADI.- Indicador Director de Attitud.

⁶ TAWS.- Terrain Awareness Warning System (Sistema de advertencia de la proximidad del terreno).

⁷ WAAS.- Sistema de aproximación y precisión.

⁸ H.- Significa para Helicóptero.

⁹ TCAS.- Sistema de alerta de colisión y tráfico.

Dispone de puertos de transmisión/recepción de datos con protocolo ARINC 429 y RS 232.

Responde hacia el ATCRBS¹⁰ en modo A, modo C y Modo S a todas las interrogaciones. La pantalla cumple con las especificaciones cuando se visualiza dentro de las siguientes posiciones:

- Ángulo de visión del piloto +- 45° de izquierda a derecha
- Ángulo de visión del piloto desde arriba 30° y desde abajo 10°

GWX 68 (Radar meteorológico) es un sistema que muestra con precisión el clima, este se vuelve altamente dependiente de la barrida de la antena del radar y de su eficiencia de transmisión. No tiene una interfaz directa con el piloto, el radar es controlado por separado a través de una pantalla multifunciones, como la pantalla MFD del G500H, y su función es la visualización y control de la unidad.

Tiene un óptimo rendimiento de transmisión al usar una antena tipo DO-213 Clase A de 12" (Instalación basada en STC¹¹ No. SA01670SE pág. 5), el cual tiene un inclinación en azimut a + -45 grados y de elevación en + -30 grados. Usa interfaces ARINC 429, ARINC 453 y comunicación de interface Ethernet.

GNS 430AW es un sistema de VOR/LOC/GS/GPS IFR/COM¹² que está diseñado para comunicación VHF en un rango de frecuencias de 118.000 MHz a 136.975 MHz con una salida de potencia de 10 a 16 Vatios. Y para navegación con un rango de frecuencia de 108.00 MHz a 117.95 MHz donde entrega información a los diferentes indicadores de VOR / NAV / GPS y visualización gráfica en la ventana GPS del equipo.

ELT Artex modelo C406-NHM (Localizador de emergencia) es un equipo de una sola salida, que incorpora información de latitud y longitud a partir del GPS IFR del equipo GNS-430AW en el helicóptero. Las tres frecuencias de emergencia (121.5/243.0 y 406,028 MHz) utilizan la misma salida de RF, por lo que requiere un sólo cable coaxial para conectarse con la antena Artex de entrada única. Se activa automáticamente durante un choque y transmite la señal de barrido estándar a 121,5 y 243 MHz cada 50 segundos por 520 ms, el transmisor de 406,028 MHz se enciende y transmite un mensaje digital codificado para el sistema satelital Cospas / Sarsat.

KMA 28 (Sistema de Audio) es un selector y amplificador de audio que contiene un sistema automático que activa el sistema de intercomunicación (VOX¹³). En esta se puede seleccionar hasta tres transceptores (Com 1, Com 2 y Com 3) y seis receptores (Nav1, Nav2, ADF, DME, MKR,AUX). Tiene la capacidad de permitir al piloto y copiloto manejar transceptores diferentes por separado. Adicional un receptor de Marker Beacon¹⁴ de 3 luces para proveer marcación visual y audible a la tripulación.

ADF KR 87 (Indicador Automático de Dirección) es un receptor de sintonización digital de estado sólido que proporciona indicación de rumbo en estaciones de tierra

¹⁰ ATCRBS.- Air Traffic Control Radar Beacon System.

¹¹ STC.- Certificado Tipo Complementario (según FAA).

¹² VOR/LOC/GS/GPS IFR/COM.- Sistema de comunicación y navegación.

¹³ VOX.- Activación por voz squelch o PTT (Push To Talk)

¹⁴ Marker Beacon.- Sistema Radiobaliza para ILS (Aterrizaje por instrumentos).

seleccionadas desde la banda de frecuencia de 200 a 1799 KHz y que proporciona también recepción de audio para que el piloto pueda identificar y escuchar estaciones de difusión o de información meteorológica.

PM3000 (Interconexión de Audio) es un panel de intercomunicación con varios volúmenes y los circuitos de VOX (activación por voz squelch¹⁵ o PTT) utilizando los controles de volumen y silenciador unificado para el piloto y copiloto.

IV. Análisis de Resultados

La parte medular de la solución implementada en la aeronave consiste en la integración de las pantallas G500H con los navegadores GNS 430AW, y al final se integra todo el sistema con el subsistema de audio sin dejar de lado al sistema anemobarométrico PITOT de la aeronave, como se observa en la figura 4.

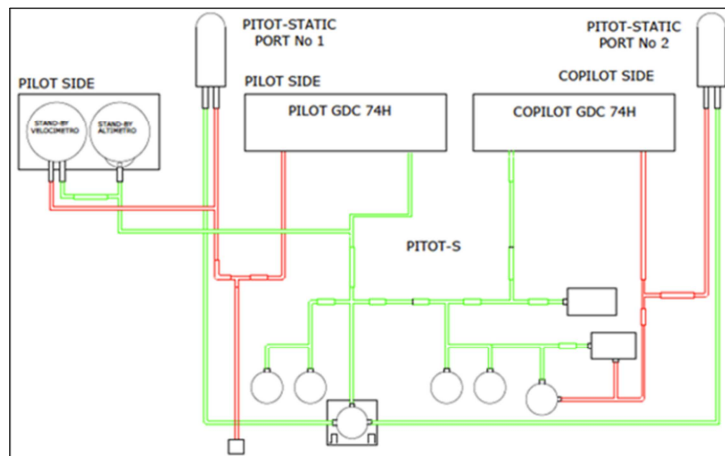


Figura 4. Integración del sistema G500H con el sistema anemobarométrico

Para el diseño de todos los elementos que involucran modificación de la parte estructural, se realizó el respectivo análisis de cargas y esfuerzos finitos que pueden afectar a los paneles, soportes de instrumentos y equipos a instalarse en la aeronave [1], en el caso de los paneles de instrumentos, se diseñó y modeló la estructura que fue cortada en duraluminio 2024-T3 0.125/0.064/0.040 de uso aeronáutico, el cambio de la apariencia de los paneles se muestra en la figura 5.

Finalmente una vez materializada toda la ingeniería y el diseño estructural en el CEMA 15, la aeronave es sometida a un proceso minucioso de regulaciones y alineamientos tanto en tierra como en vuelo.

Realizada la integración de los diferentes sistemas y equipos, la aeronave cambia su configuración inicial y deja de ser una aeronave que solo realizaba vuelo visual a ser una aeronave con toda la capacidad de realizar vuelo instrumental y nocturno

¹⁵ Squelch.- Función de los equipos de RF que permite limitar los ruidos de fondo de la señal de radio, silenciándolos.

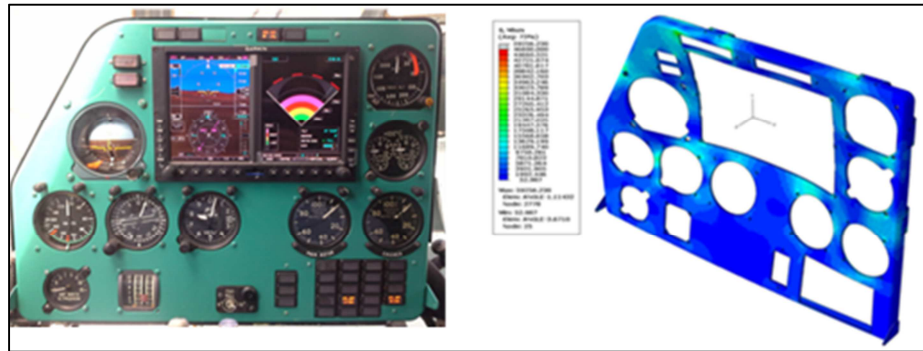


Figura 5. Configuración final del Panel de instrumentos y diseño estructural

En base al análisis del Peso y Balance contemplado en el estudio de Ingeniería elaborado (Capítulo 2), se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 1.

Se pudo observar que el Centro de Gravedad de la aeronave que originalmente se encontraba desplazado -84 mm hacia adelante, se recorrió 18 mm hacia atrás, ubicándose en los -66.02 mm de su punto cero. El rango de operación normal de la aeronave permite un desplazamiento +/- 95 mm.

Tabla 1: Peso y Balance de la Aeronave

ITEM	DESCRIPCIÓN	PESO (kg)	BRAZO (mm)	MOMENTO
1	Peso del helicóptero vacío antes de la modificación	7278.780	-84.00	-611417.52
2	Peso del helicóptero vacío luego de la modificación	7312.694	-66.02	-482789.338

Para determinar el porcentaje de carga que es utilizado en la nueva configuración, se tomó en cuenta la capacidad de los generadores del sistema eléctrico. Este porcentaje no debe superar el 80% de la carga. Como los Generadores son Trifásicos de 115 / 200 AC DE 40 KVA, estos valores equivale a 201 Amperios de cada unidad; por tanto la carga total de generación es de 402 Amp.

En base al análisis de carga establecido en el estudio de Ingeniería elaborado (Capítulo 3), se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 2, en donde se observa que el consumo de los equipos instalados corresponde a un 32.10 % y no sobrepasa el 80 % de la carga.

Tabla 2: Porcentaje de Carga de acuerdo a la modificación

Sistemas	Carga	Capacidad
Carga Generadores	402.00 Amp	100.0 %
Consumo de Equipos en la Alteración	129.16 Amp	32.10 %

V. Trabajos relacionados.

Actualmente en el Ecuador no existen sistemas desarrollados similares al que se diseñó e instaló en el helicóptero MI171E de fabricación rusa, que pertenece a la Fuerza Terrestre Ecuatoriana.

Luego de los resultados alcanzados, se han iniciado conversaciones para realizar en Ecuador, específicamente en el CEMAE 15, la modernización para las aeronaves de las Fuerzas Armadas de Colombia, México y Perú.

Esto hace aún más valedera la investigación y materialización de este proyecto que se fundamentó en base a diferentes STC, Órdenes de Ingeniería, análisis de cargas, compatibilidad de equipos, análisis de esfuerzos estructurales finitos aplicados en diferentes aeronaves, todo esto diseñado y ejecutado por profesionales ecuatorianos.

En lo que corresponde a las radiaciones electromagnéticas producidas por el radar que se instaló como parte del sistema, se tomó como referencia a los trabajos de investigación desarrollados por Verénisse Vargas B [7], que presenta los efectos producidos por las radiaciones electromagnéticas, así como también la recomendación UIT-R M. 1464 [8] en donde se indica los criterios de protección de los radares.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Una vez realizada la modernización del helicóptero ruso MI171E, la aeronave cambió la posibilidad de vuelo de reglas visuales solamente (VFR), a reglas visuales o instrumentales (VFR/IFR), lo que le proporciona mayor seguridad en las operaciones de vuelo y una ventaja operativa frente a otras aeronaves de su tipo.

La realización de este trabajo ha permitido cumplir con el propósito fundamental de planificar, diseñar e implementar instrumental, equipos, dispositivos de aviónica y modificaciones estructurales, que mejoren el desempeño en los sistemas de navegación y comunicación originales del helicóptero MI171E.

Se realizó pruebas de vuelo reglamentarias como aproximaciones instrumentales a pistas de aterrizaje cortas y largas que permitieron verificar que no existe un mínimo desplazamiento o diferencia entre el vuelo instrumental y el vuelo visual, confirmando de esta manera la fiabilidad y estabilidad del sistema diseñado e implementado.

El sistema hasta el momento ha operado 32 horas de vuelo visual e instrumental, sin haber presentado reporte alguno de mal funcionamiento o de marcación errónea de los parámetros de vuelo normal establecidos para la aeronave.

Por el trabajo y la complejidad del proyecto una vez realizadas las pruebas funcionales y en base a los resultados que se obtuvieron, es necesario que se realice en lo posterior un análisis del alcance del espectro de radiación del radar GWX68, a fin de determinar si los lóbulos laterales y posteriores, pueden afectar o no a las tripulaciones de vuelo.

AGRADECIMIENTOS

A: Ing. Patricio Vizcaíno, Msc. Colaborador, al Ing. Rodrigo Silva T, Msc. Coordinador del programa MRIC, al Ing. Alonso Hernández AIT 1783, soporte GARMIN, a la Brigada de Aviación del Ejército, auspiciante del Proyecto, al personal técnico de la

Sección Aviónica, que creyeron, confiaron y brindaron todo su apoyo en las diferentes áreas involucradas en este proyecto, a la Fuerza Terrestre, que asignó el soporte económico necesario para poder materializar esta solución tecnológica planteada en beneficio de la seguridad de las operaciones aéreas.

La investigación y desarrollo de este sistema de COM-NAV como un trabajo a nivel de maestría, plasma en el resultado final el haber demostrado que fue posible materializar un gran proyecto en base a la formación y a los conocimientos adquiridos a lo largo de los estudios realizados en el programa MRIC en conjunto con la experiencia profesional y personal de 15 años en el área de aviación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Capelo y A. Hernández, *Estudio de Ingeniería AI-114-04MI171E-00*, Quito, Pichincha: 15-BAE, 2012.
- [2] US Department of Transportation - Federal Aviation Administration, *Document AC 43.13-2A*, Washington DC: Aviation Supplies & Academics, 1977.
- [3] US Department of Transportation - Federal Aviation Administration, *Aircraft Inspection Repair & Alterations, Document AC 43.13-1B*, Washington DC: Aviation Supplies & Academics, 1998.
- [4] GARMIN Co., *Manual de instalación del Sistema GNS 430AW*, USA: GARMIN Co., 2004.
- [5] GARMIN Co., *Manual de Instalación equipo G500H Documento 190-01102-06*, USA: GARMIN Co., 2011.
- [6] DAC, *RDAC 043-MANTENIMIENTO-APÉNDICE 1*, QUITO - ECUADOR: DAC, 2012.
- [7] V. V. Briones, *Radiaciones Electromagnéticas*, 2008.
- [8] UIT-R, «<http://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>,» 2012. [En línea]. Available: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1464-1-200306-I!!PDF-S.pdf.

Ing. Aldo G. Capelo B.



Nació en Riobamba-Chimborazo.

En el 2008 obtuvo el título de Ingeniero Electrónico en Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército. En el 2010 inicia la maestría en Redes de Información y Conectividad en la Escuela Politécnica del Ejército. Actualmente se desempeña como Segundo Comandante y Jefe de la Sección Aviónica del Centro de Mantenimiento de la Aviación del Ejército CEMAE 15.

Ing. Danilo Corral De Witt



Nació en Quito-Pichincha.

En el 2003 obtuvo el título de Ingeniero Electrónico en Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica del Ejército. En el 2010 se graduó de la Maestría en Redes de Telecomunicación para Países en Desarrollo en la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid - España. Es candidato a PhD por la misma universidad. Actualmente se desempeña como Docente del DEEE de la ESPE e Ingeniero de Proyectos en la empresa privada.