

8. DISEÑO DE UN BANCO DE DIAGNÓSTICO Y PRUEBA VOR/HSI/VSI⁴⁵

Design of a VOR/HSI/VSI Test and Diagnostic Bench

Cristian Camilo Sáenz Hernández⁴⁶

Oscar Javier Martínez Cuervo⁴⁷

Rubén Darío Cuadros Antolinez⁴⁸

Mónica Estefanía Hernández García⁴⁹

Julián Enrique Barrero García⁵⁰

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.⁵¹

⁴⁵ Derivado del proyecto de investigación: Banco de Diagnóstico y Prueba VOR/HSI/VSI

⁴⁶ Ingeniero Aeronáutico, Universidad los Libertadores, Director Centro de Desarrollo Tecnológico de Aviación BRIAV-32, Ejército Nacional de Colombia, correo electrónico: cristian.saenz@buzonejercito.mil.co.

⁴⁷ Profesional en Ciencias Militares, Escuela Militar de Cadetes José María Córdova, Maestría en Estrategia y Geopolítica, Escuela Superior de Guerra, Oficial del Ejército Nacional – Piloto Militar Helicópteros MI 17 Series, Ejército Nacional de Colombia Institución, correo electrónico: osmagipilot@hotmail.com.

⁴⁸ Tecnólogo en Electrónica y Comunicaciones, Escuela de Comunicaciones Militares, Suboficial de Investigación, Desarrollo e Innovación BRIAV – 32 Ejército Nacional de Colombia, correo electrónico: ruben841202@hotmail.com.

⁴⁹ Ingeniera Civil, Universidad Piloto de Colombia, Especialista en Gerencia de Proyectos, Universidad Piloto de Colombia, Asesora de Investigación, Escuela Militar de Suboficiales “Sargento Inocencio Chincá”, correo electrónico: investigador.presupuesto@emsub.edu.co.

⁵⁰ Ingeniero Industrial, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Magister en Educación Ambiental, Universidad del Tolima, Coordinador de Investigación, Escuela Militar de Suboficiales “Sargento Inocencio Chincá”, correo electrónico: julian.barrero.profesor@emsub.edu.co.

⁵¹ Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

DISEÑO DE UN BANCO DE DIAGNÓSTICO Y PRUEBA VOR/HSI/VTI

Cristian Sáenz, Oscar Martínez, Rubén Cuadros, Mónica Hernández, Julián Barrero

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad brindar una solución precisa, segura y efectiva a las diferentes necesidades que tienen los técnicos de mantenimiento de la Aviación del Ejército Nacional de Colombia, pretendiendo dar solución a las fallas que presenta el sistema VOR/HSI/VTI de los helicópteros Black Hawk del Ejército Nacional, generando así una mejora en la optimización del personal, tiempo y recursos del estado.

PALABRAS CLAVE: banco de pruebas; banco de diagnóstico; VOR; VTI; HSI

ABSTRACT

The purpose of this investigation is to provide a precise, safe and effective solution to the different needs of the maintenance technicians of the National Army Aviation of Colombia, trying to solve the failures presented by the VOR / HIS/VSI system of the Black helicopters. Hawk of the Army, thus generating an improvement in the optimization of personnel, time and state resources.

Keywords: test bench; diagnostic bank, VOR; VSI; HIS.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento que tienen las aeronaves del Ejército Nacional de Colombia, se realiza por parte de un personal que cuenta con las capacidades, formación y experiencia para ello, teniendo la limitación de recursos tecnológicos y materiales que permiten generar diagnóstico a las fallas y pruebas que requieren, esto causa una limitación a las funciones básicas, costos de mantenimiento y actualización en las calibraciones.

La idea por la cual se desarrolló la presente investigación surgió desde las fallas que se generan en el componente del sistema VOR (radiofrecuencia omnidireccional de alta frecuencia), HSI (indicador de situación horizontal) y VSI (indicador de velocidad vertical). El personal que realiza este mantenimiento lo hace a través de los diferentes procedimientos establecidos en los manuales, durando entre dos y cuatro horas para la identificación de la falla, causando un retraso en el ciclo de mantenimiento y desgaste en el personal técnico.

El Ejército Nacional maneja desde sus inventarios diferentes herramientas y equipos para determinar las fallas del sistema VOR/HSI/VSI desde parámetros simulados, siendo adquiridos hace más de 15 años y algunos de ellos donados por el Plan Colombia, por lo cual tienen más de 25 años de uso. Actualmente en el mercado existen equipos de prueba con una tecnología más avanzada, que no integran completamente las pruebas necesarias. Desde la presente investigación se buscó identificar y analizar dichas necesidades y limitaciones, con el fin de generar un diseño de un banco de diagnóstico y de prueba que pudiera mejorar y optimizar el tiempo empleado por el personal técnico para la identificación y solución de las fallas cumpliendo con las características técnicas de calidad y seguridad exigidas por la industria aeroespacial.

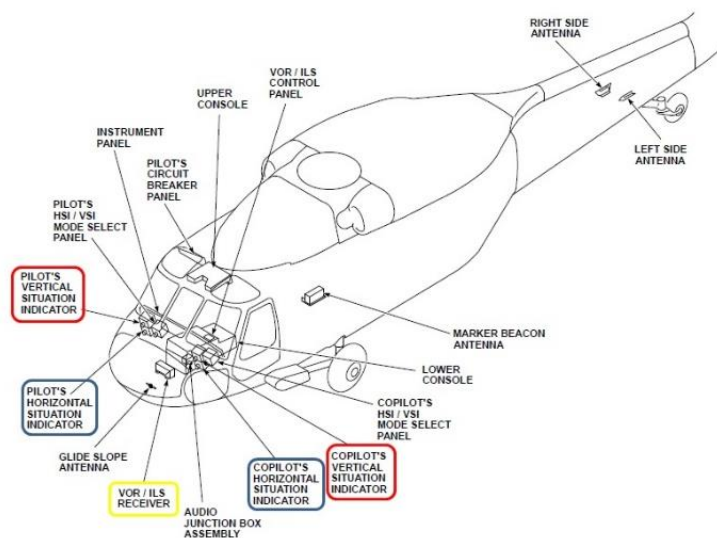
Se utiliza una metodología mixta de tipo exploratoria, utilizando la técnica de la observación a través de identificación de las fallas más comunes del sistema con la finalidad de obtener el reconocimiento de dicho problema. Así mismo, se aplica el análisis documental y estadístico desde el registro de las fallas más comunes y complejas que presenta el sistema

VOR/HSI/VSI de los helicópteros Black Hawk del Ejército Nacional. Entre algunos resultados que se resaltan se determina que los equipos que utiliza la aviación para realizar el procedimiento de caza de fallas en el sistema en mención, son tecnológicamente obsoletos y el procedimiento para su operación es complejo, generando mayor carga de trabajo para el personal técnico, se concluye que el diseño del banco de diagnóstico y de pruebas para el sistema VOR/VSI/HSI para los helicópteros Black Hawk, mejoraría la problemática identificada.

La presente investigación se desarrolló directamente en el sistema de navegación de VOR que recibe Señales Omnidireccionales (VOR), Localizador (LOC) Glide Slope (GS) y Marker Beacon (MB) los cuales proporcionan al piloto y copiloto una información visual y auditiva en frecuencia (VHF). La información visual le permite al piloto ver el rumbo del VOR, la desviación del curso, hacia/desde GS, y las indicaciones de MB. La información auditiva permite la identificación de voz y código de señales VOR/LOC y MB. El conjunto está compuesto por un receptor OR/ILS, en el compartimiento de la nariz de la aeronave, un panel de control VOR/ILS en el lado del copiloto y una consola inferior, una antena MB en la parte inferior de la sección central del fuselaje GS en la nariz por debajo del compartimiento de aviónica y dos antenas VOR/LOC en los lados izquierdo y derecho del cono de la cola de fuselaje (Headquarters, Department of the Army., 2014).

Imagen 1.

Ubicación de componentes en la aeronave



Nota: Headquarters, Department of the Army, 2014.

MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación tiene un enfoque mixto de tipo exploratorio, teniendo como objetivo examinar y explorar un problema de investigación que poco ha sido estudiado o analizado, (Abreu, 2012) . Dado el tema y de acuerdo a la literatura que se pudo consultar, este tipo de investigación permitió identificar factores y variables que ocasionan o inducen las fallas de los componentes del sistema VOR/HSI/VSI, identificando las relaciones posibles entre ellas. (Cazau, 2018).

Desde dicha perspectiva esta investigación ayuda a conocer y a mejorar el conocimiento sobre los fenómenos de estudios que explican el problema, algunos de ellos como el desgaste por uso operacional en las diferentes misiones que cumplen los helicópteros a nivel nacional, sumando las difíciles y cambiantes condiciones meteorológicas en las que el sistema y sus componentes se ven inmersos, estos hechos y experiencias desde la observación permite llegar a conclusiones que se pueden inducir o derivar de las fallas presentadas y sus posibles soluciones (Prieto Castellanos, 2017).

Se emplea también la revisión y recolección de información la cual se analiza de manera estadística, teniendo preceptos claros y mediante la implementación del análisis de las fallas presentadas por este sistema y sus componentes, así como la experiencia del personal de técnicos especialistas en aviónica, permitiendo un mejor entendimiento de los detalles de este sistema, en cuanto a su operación, funcionamiento y fallas, logrando identificar los elementos que causan las mismas de manera recurrente y que deben ser reemplazados con mayor frecuencia, así como también posibles causas y soluciones.

Teniendo los componentes identificados se realiza un análisis técnico a los manuales de operación y funcionamiento del fabricante de las aeronaves y dentro de estos la descripción del sistema y el análisis de los diagramas eléctricos del mismo, permitiendo

consolidar las mediciones durante el desarrollo del proyecto y la parametrización de las variables, dando valores de referencia y buscando validar el resultado de las mediciones obtenidas en comparación con las descritas en el manual técnico que se tuvo en cuenta para la programación del código fuente, obteniendo con ello variables de entrada y salida.

Para el diseño del hardware se realizó un levantamiento de requerimientos mediante el análisis e investigación de la información encontrada en los manuales técnicos y aprovechando el Know How del personal de técnicos especialistas de aviónica del Ejército Nacional, posterior al diseño, se procede a integrar el procesador industrial de alto rendimiento basado en la arquitectura LabVIEW, utilizado para ejecutar el control, operación monitoreo y análisis de los parámetros de cada componente antes durante y después de la operación. Para la integración de los módulos de adquisición de datos se seleccionó un chasis robusto PXiE 1075 de 16 Slots compatible con el procesador y dentro del cual se integran los módulos NI-PXiE 5153 modulo configurado como osciloscopio para efectuar la medición de señales de frecuencia. NI-PXiE 6511 Módulo PXI de E/S Digital, NI-PXiE 6528 es una interfaz con E/S digital paralela, NI-PXiE 4071 Multímetro Digital PXI que brinda las capacidades de medida encontradas en dos instrumentos de prueba comunes: un DMM de alta resolución y un digitalizador. Como DMM, brinda voltaje AC/DC rápido y preciso, resistencia de 2 o 4 cables y medidas de frecuencia y período, así como pruebas de diodo. En el modo de digitalizador aislado de alto voltaje, puede adquirir formas de onda a velocidades de muestreo hasta 1.8 MS/s, NI-PXiE 5451 es un generador de forma de onda arbitraria de doble canal de 145 MHz, capaz de generar formas de onda definidas por el usuario, funciones estándares y señales I/Q. NI TB-2627 conectividad de señal para el módulo multiplexor de conmutación, NI-PXiE 4110 Fuente de Alimentación Programable de 3 Canales, 20 V, 1 A es una fuente de alimentación DC programable.

De igual forma se instaló una pantalla táctil FPT 1015 para operación, visualización y análisis de las pruebas. Un router TPLINK permite la comunicación y control del banco de prueba y diagnóstico por medio de dispositivos portátiles a distancia, la UPS KIN-2200AP es la encargada de proteger los equipos contra cortocircuitos, sobrecargas, picos de voltaje y rayos con un auto regulador de voltaje, POWER SOURCE MODEL 118-ACX, la fuente de

alimentación ACX es un instrumento de conversión de corriente AC de alto rendimiento, la ITECH IT6322 POWER SUPPLY la fuente de alimentación IT6322 programable de salida triple, le proporciona alta resolución, alta exactitud y alta estabilidad.

El análisis de señales permitió seleccionar el material, insumos, tipo y calibre de cable necesario para la fabricación del arnés eléctrico e interconexión entre los componentes y el banco de diagnóstico y pruebas, el arnés eléctrico e interconexión entre los módulos de adquisición de datos, el procesador industrial.

Se obtiene datos técnicos como; tipos de cable, calibres usados en la aeronave para calcular la resistencia y corriente que es necesaria para la operación del sistema en la aeronave, para la fabricación del banco de pruebas y diagnóstico, se tomó como referencia el diagrama del sistema VOR de la aeronave, dando continuidad al diseño diagramando la interconexión entre los módulos de adquisición de datos y los componentes que serán chequeados en el banco de pruebas terminado el diseño del diagrama de interconexión se inicia con la fabricación.

Se inicia con el diseño del arnés eléctrico del banco de prueba y diagnóstico VOR, se realiza el montaje de los componentes indicador de situación vertical (VSI), indicador de situación horizontal (HSI), panel de control, giro direccional, compensador magnético, transmisor de inducción, caja de control compas, panel de control VOR/ILS, antenas (VOR/ILS/GLIDE SLOPE) de ellos se desprenden las líneas eléctricas hacia las regletas, este montaje se realiza como lo diseñó el fabricante para comprobar que todo funcione como lo hace en la aeronave, de estas regletas se toman las señales que serán llevadas al PXiE 1075 donde serán convertidas de análogas a digitales para poder ser analizadas por el ordenador, este posee 16 slots donde en slot número 2 encontramos NI PXiE 5153, slot 3 NI PXiE 6511, slot 4 NI PXiE 6528, slot 5 NI PXiE 4071, slot 6-7 NI PXiE 5451, slot 8 NI TB 2627, slot 9 NI TB 2627, slot 15 NI PXiE 4071, slot 16 NI PXiE 4110.

Para el desarrollo del código fuente se utilizó el lenguaje de programación gráfica LabVIEW, este es un software de ingeniería diseñado para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a información de datos y hardware. LabVIEW sigue un modelo de flujos de datos para ejecutar un Vis (Virtual Instrument System, por sus siglas en inglés). Un nodo de diagrama de bloques se ejecuta cuando recibe todas las entradas requeridas. Cuando el nodo se ejecuta, produce datos de salida y pasa los datos al siguiente nodo en la trayectoria del flujo de datos. El movimiento de datos a través de los nodos determina el orden de ejecución de los Vis y las funciones en el diagrama de bloques. (National Instruments, 2018)

Para el desarrollo del código se creó un árbol de proyectos vinculando el controlador NI PXiE 1075 y módulos de adquisición de datos, creando sub Vis, librerías y controles para la integración de los mismos en el momento de la ejecución del código. Se utilizó la herramienta ofrecida por el software LabVIEW conocida como máquina de estados usada para implementar algoritmos de decisión compleja, monitoreo de procesos y diagnósticos.

Dentro de la máquina de estados se implementaron las herramientas como el Ciclo While Loop que ejecuta el código, un número infinito de veces hasta que el programa sea detenido por el usuario, también se utilizó la estructura de programación CASE que mediante el uso de controles e indicadores enumerados (ENUM) permitieron realizar un paso a paso de las pruebas, se usaron variables compartidas en cada caso del código, nodos de propiedad para lectura e indicación de los datos adquiridos, compuertas lógicas que permiten seguir una secuencia lógica del proceso y tomar decisiones dentro del código, arreglos de datos con información utilizada al finalizar la prueba para generar el reporte, constantes que permiten parametrizar los datos adquiridos, indicadores de texto String que permiten visualizar el estatus de la prueba, indicación de la falla, indicación del reporte y notas de advertencia, Shift Registers para transferir valores desde un Loop de interacción a otro. Se utilizó un Cluster de manejo del error para forzar un orden de ejecución del programa.

Para el diseño del panel frontal se implementó una interfaz con controles, indicadores, líneas y formas geométricas haciendo esta amigable para el usuario.

Para las pruebas y validación funcional del código se utilizaron cinco tipos de prueba, estas son:

Pruebas de Unidad Ingresando Casos de Prueba: Para esta prueba se ingresan casos lógicos e ilógicos, los lógicos para garantizar que las entradas produzcan el resultado esperado y los datos ilógicos para verificar si el código tiene algún error. Para los datos ilógicos se simuló las señales de entrada en voltaje, corriente o resistencia verificando el manejo de error del código. Estos casos comprueban la estructura del código y las condiciones límite ejercitando la funcionalidad del código.

Pruebas de Integración del Código: Esta prueba verifica que los casos tengan una correlación y transfieran los datos en forma conjunta, esto quiere decir que los valores obtenidos por los módulos de adquisición de datos sean transferidos correctamente al String y al reporte final.

Pruebas de Regresión: Estas se realizan ejecutando simultáneamente la misma prueba asegurándose de que no se induzcan errores debidos al cambio de datos ingresado para cada caso.

Pruebas de Validación: Estas pruebas se ejecutan para garantizar la funcionalidad del software y son efectuadas por usuario final verificando que la necesidad sea satisfecha.

Pruebas del Sistema: En esta prueba se verifica la operatividad del software en uso continuo verificando el rendimiento, la recuperación de datos ante posibles fallas de alimentación eléctrica y la resistencia ante ambientes extremos de temperatura.

RESULTADOS

Como resultado se da el diseño y desarrollo de un banco de pruebas, para el sistema VOR (Radiofaro omnidireccional de alta frecuencia), que recibe señales de una estación en tierra que indica la dirección con respecto a este punto; los instrumentos de vuelo indicador

de situación vertical (VSI), indicador de situación horizontal (HSI), panel de control VOR/ILS, gyro direccional, compensator magnetic, transmitter induction compass, caja de control compas, componentes indispensables en los helicópteros BLACK HAWK de las Fuerzas Militares y de Policía Nacional para realizar un vuelo o aterrizaje por instrumentos ya que son los que indican la dirección y actitud de vuelo de la aeronave.

Se obtienen los datos técnicos de cada componente midiendo el valor resistivo y capacitivo en condiciones estables de almacenamiento, estos valores fueron comparados con los componentes instalados en la aeronave en condiciones de reposo, durante la operación y terminada la operación obteniendo como resultados variables que permitieron Parametrizar los valores obtenidos para ingresarlos en el código fuente del software.

De igual forma, con el desarrollo del banco de pruebas, organizacionalmente se obtiene mejoras en los indicadores de gestión, tales como: mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad en la reparación de los componentes del sistema VOR/HSI/VSI. Aunado a esto, la aceptación del personal de especialistas que ejecutan el trabajo es ergonómicamente funcional.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el desarrollo del banco de diagnóstico y pruebas de VOR/HSI/VSI, se genera un aporte al conocimiento desde el análisis de señales del sistema y se elabora la tabla de fallas del mismo, teniendo la capacidad de adquisición de datos, control, medición y monitoreo para solucionar las fallas existentes en el sistema.

El banco diseñado integra manuales técnicos de la aeronave facilitando el trabajo al personal técnico de mantenimiento, donde se guardan los datos de prueba los cuales pueden ser analizados posteriormente, el valor agregado del producto es la incorporación del procedimiento para la solución de fallas, permitiendo que a futuro se puedan realizar mejora y avances en cuando al diseño de software y hardware.

Al adquirir un equipo es importante tener en cuenta los gastos de mantenimiento que estos requieren para su correcto funcionamiento, por lo cual una de las ventajas de esta investigación fue el aporte al mantenimiento preventivo, programado y correctivo necesario como la inspección, reparación y calibración es realizado por el personal del Ejército Nacional, optimizando significativamente los recursos destinados para este fin.

El banco de diagnóstico y pruebas diseñado cuenta con una interfaz de usuario amigable, segura y fácil de navegar e interpretar, esta le permite al técnico visualizar, monitorear y controlar la secuencia de cada prueba que ejecuta, para acceder a la aplicación se diseñó un icono con el nombre de VOR, al dar clic este direcciona a la interfaz principal donde se visualiza el “User PID”, correspondiente al código de identificación del operario, “Work Order”, correspondiente al número de orden de trabajo emitida por control producción de la Unidad, S/N componente.

La operación del sistema VOR y el análisis de señales de entrada y salida de voltaje, corriente y resistencia de los componentes que integran el sistema de VOR, como son: indicador de situación vertical (VSI), indicador de situación horizontal (HSI), giro direccional, compensador magnético, transmisor de inducción, caja de control compas, panel de control VOR/ILS, antenas (VOR/ILS/GLIDE SLOPE), para determinar el tipo de módulos y accesorios necesarios para la adquisición, procesamiento, monitoreo y control de las mismas.

La experiencia adquirida durante diez y seis años permitió direccionar e identificar los componentes del sistema VOR/HSI/VSI más susceptibles de presentar fallas debido a su importancia, complejidad y operación constante, sumado a esto se contemplaron las fallas incluidas en los manuales técnicos de la aeronave, como soporte se tuvo en cuenta la estadística de fallas del sistema en los últimos años soportada en una tabla que agrupa las del manual técnico y las descubiertas con el pasar de los años y la experiencia de los técnicos especialistas incluyendo la acción técnica correctiva de mantenimiento.

Se obtuvieron los datos técnicos de cada componente midiendo el valor resistivo y de capacitación en condiciones estables de almacenamiento, estos valores fueron comparados con los componentes instalados en la aeronave en condiciones de reposo, durante la operación y terminada la operación obteniendo como resultados variables que permitieron parametrizar los valores obtenidos.

En la Aviación del Ejército existe un área llamada Aeronavegabilidad responsable de la certificación del desarrollo de una tarea de mantenimiento, fabricación de partes aeronáuticas, herramientas y/o equipos de prueba, conformada por personal altamente capacitado e idóneo. Como parte fundamental para el desarrollo de esta actividad se exigen para el caso de herramientas y/o equipos de prueba un estudio de ingeniería elaborado y aprobado por un ingeniero aeronáutico y este debe contener el paso a paso para la fabricación del producto, el manual de operación y mantenimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J. L. (2012). Hipótesis, Método & Diseño de Investigación. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(2), 187-197.
- Cazau, P. (2018). *Introducción a la Investigación en Ciencias Sociales*. Rundinguskín.
- Headquarters, Department of the Army. (2014). *Technical Manual, aviation Unit and Intermediate*. Department of the Army.
- National Instruments. (2018). *Block Diagram Data Flow*. [Block Diagram Data Flow - NI](#)
- Prieto Castellanos, B. (2017). Use of Deductive and Inductive Methods to Increase the Efficiency in the Acquisition and Processing of Digital. *Cuadernos de Contabilidad*, 18(46), 56-82. <https://doi.org/10.11144/javeriana.cc18-46.umdi>.