

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS MEDIANTE UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE, PARA EL GENERADOR ARRANCADOR DE LAS AERONAVES SUPER TUCANO A-29B, EN EL ALA DE COMBATE N°23 DE LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA-MANTA.

Escobar Andrea. Bassante Víctor.

Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

Abstract—El presente artículo tiene la finalidad de dar a conocer el diseño y la construcción de un banco de pruebas para los generadores arrancadores de las aeronaves Super Tucano A-29B. Además, se presenta la distribución física del banco de pruebas, se detallan los equipos utilizados en la elaboración del proyecto de tesis y funcionamiento.

Para finalizar el documento, se da a conocer los alcances y limitaciones, así como, las conclusiones y recomendaciones tomadas luego de la implementación y operación del banco de pruebas.

Palabras claves— Asentamiento escobillas, generador arrancador, operador gráfico y controlador logico incorporado, unidad de control de generación, vision 280V

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el campo aeronáutico ha presentado un nivel tecnológico de última generación, el mismo que por su complejidad demanda mayor calidad en los procesos, así como, en el área de mantenimiento.

Razón por la cual la Fuerza Aérea Ecuatoriana busca la manera de mejorar el mantenimiento aeronáutico, específicamente en los aviones Super Tucano A-29B, ante tal problemática surge la necesidad de diseñar y construir un Banco de Pruebas para los Generadores Arrancadores, en el que se pueda corroborar y asegurar el mantenimiento de tipo preventivo, correctivo u overhaul.

La Fuerza Aérea Ecuatoriana, hace algunos años envía sus instrumentos para mantenimientos a empresas extranjeras, lo que conlleva a gastos exorbitantes.

La construcción de un banco de prueba para generadores arrancadores con las características que requieren las aeronaves, es necesaria por la utilidad que brinda; con lo que se consigue mejorar las condiciones financieras, laborales y de tiempo.

II. MARCO TEÓRICO

A. Sistema eléctrico de la aeronave

El sistema eléctrico del avión genera, controla y distribuye energía a los sistemas eléctricos y electrónicos durante el vuelo.

La aeronave está equipada con un sistema de arranque semi-automático el mismo que se acciona con una Fuente de corriente continua de 28 Vdc, la que pone en marcha a la GPU (GROUND POWER UNIT) y el EPC (ENERGY POWER CONTACT).

La energía eléctrica es fundamental para el funcionamiento de muchos sistemas e instrumentos de la aeronave como: [1]

- Arranque del motor.
- Radio.
- Luces.
- Instrumentos de navegación.
- Sistema de ventilación.
- Sistemas electro-neumáticos.
- Accionamiento de armamento.
- Radio comunicación.
- Cámaras de direccionamiento de láser para armas.
- Accionamiento de flaps.
- Accionamiento de tren aterrizaje.
- Entre otros dispositivos.

B. Generador

Un generador es una máquina eléctrica rotatoria que convierte energía mecánica proporcionada, ya sea, por un motor eléctrico o por energía renovable, en energía eléctrica de corriente alterna o continua

Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura. El generador como muestra la Figura 1, está formado por dos partes fundamentales, la parte fija llamado estator y la parte móvil llamada rotor. [2]

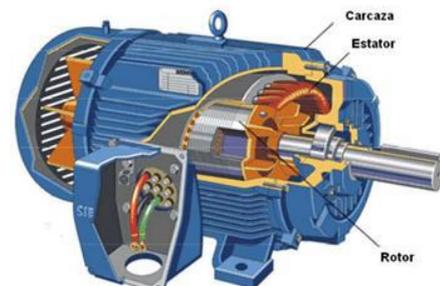


Figura 1. Partes de un generador.

C. Motor de transmisión

Un sistema de transmisión es un conjunto de dos poleas acopladas por medio de una correa con el fin de transmitir fuerzas y velocidades angulares entre árboles paralelos que se encuentran a una cierta distancia.

La fuerza se transmite por efecto del rozamiento que ejerce la correa sobre la polea. La fuerza que transmiten las poleas es debida al rozamiento que ejerce la correa sobre la polea, por lo que la correa es un elemento decisivo en este sistema de transmisión de movimiento.

La correa en su funcionamiento está sometida a esfuerzos. Pero sus dos tramos no soportan los mismos esfuerzos; el

tramo que va de la rueda motriz se encuentra flojo, mientras que el otro está totalmente tenso.

Suelen estar fabricadas de caucho resistente al desgaste y reforzadas con cuerdas para mejorar el comportamiento a tracción. [3]

D. Variador de velocidad

El variador de velocidad, es en un sentido amplio un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores.

La maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etcétera.

Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo. La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua.

Un variador de velocidad puede no ser al mismo tiempo un regulador. En ese caso se trata de un sistema dotado de un control de amplificación de potencia. La velocidad del motor queda determinada por una magnitud de entrada (tensión o corriente) denominada consigna o referencia. [4]

E. Asentamiento de escobillas

Las escobillas o carbones son las encargadas de realizar la conexión eléctrica entre el estator y el rotor de un motor de corriente continua.

Las escobillas deberán ser inspeccionadas frecuentemente durante el servicio, las que estén desgastadas deberán ser sustituidas.

En máquinas que trabajan siempre en el mismo sentido de rotación, el asentamiento de las escobillas deberá ser hecho solamente en este sentido y no en movimientos alternados. Las escobillas deben estar siempre levantadas durante el movimiento de retorno del eje. Como se observa en la Figura 2.

Las escobillas deberán asentarse con una presión uniforme sobre la superficie de contacto del anillo para asegurar una distribución uniforme de la corriente y un bajo desgaste de los carbones.

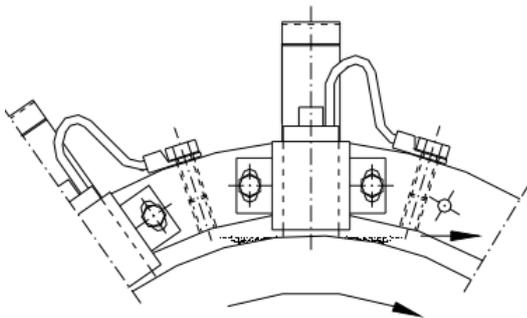


Figura 2. Asentamiento de escobillas.

Es importante que todas las escobillas montadas tengan una presión de contacto igual, con una tolerancia de más o menos 10%. Desvíos mayores llevarán a una distribución desigual de la corriente, lo que provoca un desgaste no uniforme de las escobillas. [5]

F. Sistemas de medición del banco de pruebas

El banco de prueba de generador arrancador se diseña en una consola, la misma que consta de: [6]

- Fuente de poder externa.
- Panel de instrumentación.
- Panel de control.
- Panel de interconexión GCU.
- Módulo de control de cargas DC.
- Conjunto de sensores.

G. Unidad de control de generación

Para el suministro de energía a todos los sistemas eléctricos y recarga de baterías de las aeronaves, se utiliza un generador de corriente continua de 28 Vdc, el mismo que necesita una unidad de control de generación, que es la encargada de mantener constante el voltaje de salida, sin depender de la velocidad del motor ni las cargas utilizadas.

La GCU combina las funciones de regulación de voltaje del generador, y control de potencia del sistema. Para la regulación de voltaje se emplea la detección de voltaje promedio con un elevado control de fase. En el control de potencia se utiliza diversos tipos de controladores según la tecnología que utiliza cada GCU, esta puede ser mediante pilas de carbón para las antiguas, en la actualidad se utilizan controladores digitales convencionales o avanzados mediante microcontroladores. [7]

H. OPLC

El Controlador Lógico Programable con Panel Gráfico de Operador (de sus siglas en inglés Graphic Operator Panel & Programmable Logic Controller) de Unitronics, que poseen un panel de mando integral de diseño compacto, además es compatible con módulos de expansión de entradas y salida (I/O).

Este permite construir sistemas controlados de una amplia gama de aplicaciones analógicas y digitales. Todos los OPLC ofrecen comunicación serial RS232, opciones de red CANbus, y un reloj de tiempo real (RTC).

En la Figura 3, se muestra un OPLC con un módulo de expansión de entradas.



Figura 3. Sistema Vision

El panel de operación del OPLC Vision 280 contiene una pantalla gráfica táctil. Las instrucciones de la pantalla LCD muestran al operador alarmas, y la información de las

variables en tiempo real a través de texto e imágenes gráficas. El operador puede utilizar el teclado programable para introducir o modificar los datos en el sistema de visión controlada. La interfaz de comunicación entre el controlador y el operador se le conoce como el HMI o interfaz Humano-Máquina. [8]

III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Se utiliza dos ambiente separados para la implementación del banco de pruebas, en el primero se encuentra la consola de control y la fuente de corriente continua para el asentamiento de escobillas. El segundo es el de potencia, en él se encuentra el motor por transmisión, la ventilación, el módulo de cargas, los acoples mecánicos para la prueba de generación y el asentamiento de escobillas, las conexiones de potencia de la transmisión y el breaker de alimentación trifásica (STD). La separación de los ambientes tiene la finalidad de evitar el contacto directo entre el operador y la sección de potencia del banco de pruebas, además, se puede supervisar el funcionamiento por medio de una ventana con doble vidrio templado entre los cuartos.

La Figura 4, permite identificar por medio de un plano cómo está distribuido el banco de pruebas.

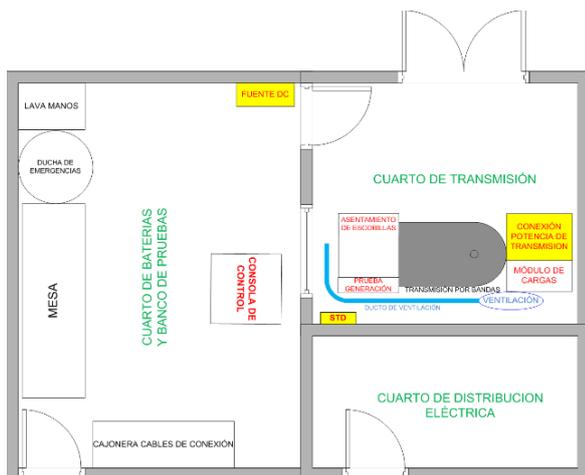


Figura 4. Croquis banco de pruebas generadores.

A. Propósito banco de pruebas

El propósito del banco de pruebas es instalar, probar, regular y descartar todas las fallas posibles de los generadores y unidades de control de generación (Reguladores de voltaje o GCU) relacionados en la Tabla 1.

El banco equipado con todos los componentes y accesorios requeridos para realizar todas las pruebas estipuladas en los manuales y órdenes técnicas de cada equipo. Además, el banco está en la capacidad de ampliar su rango de prueba a otros tipos de generadores y GCU.

Tabla 1. Relación de equipos a probar.

NOMBRE	N° PARTE	FABRICANTE
GENERADOR	30B37-31-B	GENERAL ELECTRIC
GCU	3s2060DC168A1	GENRAL ELECTRIC
REGULADOR DE VOLTAJE	U-6121	LUCAS AEROSPACE

El banco está diseñado de tal manera que sus componentes están organizados en módulos desmontables con lo cual, su inspección, reparación, y mantenimiento se realiza de una manera sencilla.

Los módulos están alojados en un rack o armario de 19 pulgadas de alto, como se visualiza en la Figura 5 que a su vez sirve de soporte estructural, está dotado posee ruedas para facilitar el desplazamiento y se requiere solo la labor de un usuario para su operación.

Los módulos que conforman este banco son:

- Módulo de Alimentación.
- Módulo de Instrumentos.
- Módulo de Osciloscopio.
- Módulo de Control.
- Módulo de GCU.

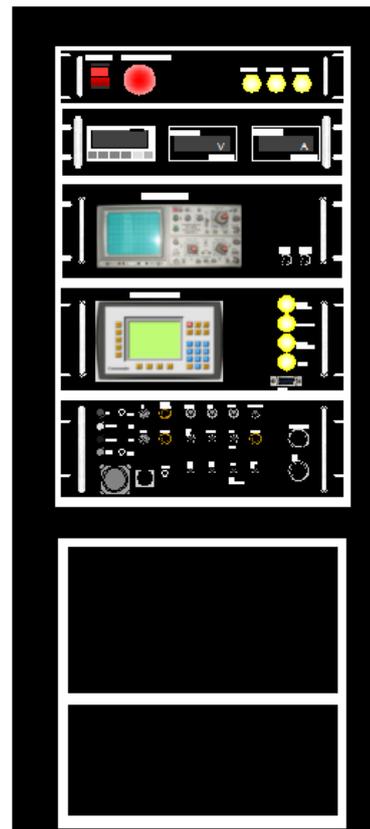


Figura 5. Banco de pruebas

B. Descripción módulo banco de pruebas

El banco de pruebas de generadores consta esencialmente de cuatro módulos principales: módulo de transmisión, consola de control, banco de cargas de corriente continua y Módulo de asentamiento de escobillas. Como se presenta en la Figura 6.

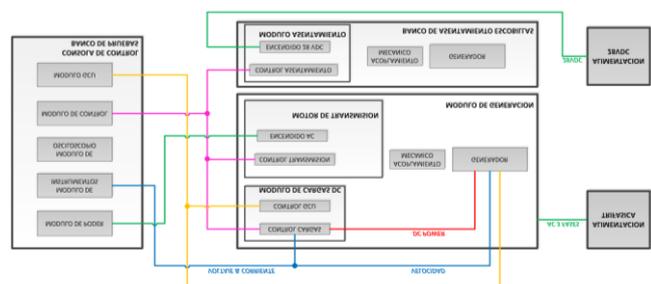


Figura 6. Diagrama de bloques del banco de pruebas.

La transmisión consta de un motor principal, el cual está acoplado por medio de dos correas instaladas sobre poleas de geometría variable a la caja multiplicadora. La caja multiplicadora tiene dos ejes de salida de alta y baja velocidad, las cuales giran entre 3000 a 11600 RPM. La caja es sellada y lubricada para mejorar la fricción, las variaciones de velocidad se obtienen a través de la un motor engranado mecánicamente a las poleas, las cuales constan de dos platos que son cerrados o abiertos para aumentar o disminuir el diámetro de la polea.

La consola de control es una estructura que alberga varios módulos, los cuales distribuyen y monitorean el potencial eléctrico de operación del banco al módulo de instrumentos de voltaje, corriente y velocidad, un osciloscopio para monitoreo de señales propias del banco y de las unidades a probar, un módulo de control que determina la activación de los diferentes circuitos de la transmisión y manejo de las cargas, además, un módulo de integración y control de las GCU. El banco de cargas DC es capaz de soportar cargas variables en incrementos de 10 hasta 600 amperios, estas cargas están limitadas por medio de software hasta los 400 amperios.

C. Análisis detallado del sistema eléctrico

La potencia eléctrica principal es trifásica de 220 Vac, llega directamente al módulo de la transmisión para alimentar los contactos de los drivers del motor principal, motor del ventilador, motor del control de velocidad y el transformador auxiliar, el cual convierte los 220 Vac a 110 Vac para alimentar las bobinas de los contactores.

Este voltaje también es llevado a la regleta de conexiones, de allí es conmutado por un contactor y accionado en la consola de control por el interruptor de poder. Mediante el cual se alimenta eléctricamente los demás módulos de la consola (Módulos de instrumentación, osciloscopio, PLC Y GCU), cuenta con un sistema detector de ausencia de fases que advierte al operario para la no operación del banco.

Las ordenes de control de los contactores del motor principal, ventilación, motor de variador de velocidad y el módulo de asentamiento de escobillas provienen del módulo OPLC por medio de unos relevos auxiliares, los cuales energizan sus bobinas y permiten el paso de la corriente eléctrica a los correspondientes motores, todo esto se efectúa de manera individual previa selección en el módulo OPLC por medio del operario.

Los contactores del motor principal y el de ventilación están provistos de circuitos de protección de sobre corriente, que cortan la alimentación del motor para protegerlo en un evento de carga excesiva. En el módulo de cargas se encuentra un motor para ventilación por aire de impacto a las resistencias de carga. Este motor está controlado por el módulo OPLC a través de un relevo.

D. Programación OPLC

El programa del OPLC se estructura con una presentación, información del banco de pruebas, seguridad de acceso, menú de selección de operación del banco (asentamiento de escobillas y prueba de generadores), la configuración de cada prueba como muestra el diagrama de flujo en la Figura 7.

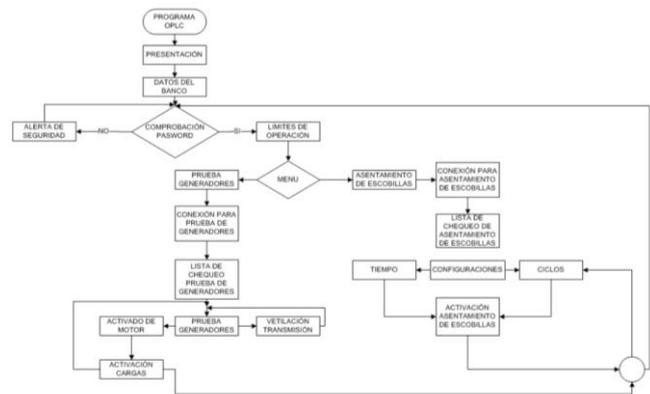


Figura 7. Diagrama de flujo programación OPLC

IV. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La implementación del banco de pruebas para generadores arrancadores, incluye las pruebas de funcionamiento de los equipos, instrumentos y módulos, así como, la manera correcta de operación del sistema de control y potencia. Además, se analizan los parámetros de control en la prueba de generación como: voltaje, corriente y revoluciones por minuto del sistema completamente integrado.

A. Descripción física y detallada de construcción del banco de pruebas

El sistema implementado dispone de dos partes. La primera realiza la prueba de generación en la que intervienen: módulo de control, módulo de transmisión y módulo de cargas. La segunda, es la prueba de asentamiento de escobillas del generador para lo que se utiliza: módulo de OPLC, módulo de ventilación y fuente de alimentación DC.

La consola de control cuenta con cinco módulos para su funcionamiento como se indica en la Figura 8.

El Módulo de Potencia se encarga de energizar a todos los módulos y a sus elementos. El Módulo de Instrumentos al igual que el Módulo de Osciloscopio permite la visualización de parámetros como voltaje, corriente, revoluciones por minuto, así como, sus formas de onda. El corazón y cerebro del banco se encuentra en los módulos de OPLC y GCU, estos permiten realizar la prueba de generación al simular el motor de la aeronave y verificar su funcionamiento en conjunto con el módulo de transmisión.



Figura 8. Módulo de control implementado.

El Módulo de transmisión se encuentra en un cuarto aislado, de esta manera evita lesiones auditivas producidas por el ruido, y posibles accidentes al momento de realizar las pruebas de generación o de asentamiento de escobillas. La alimentación trifásica es distribuida tanto al Módulo de Control como al módulo de Transmisión. Además se utiliza relés intermedios en el acople de potencia y control. En la Figura 9 se observa el cómo se encuentra distribuido el módulo de transmisión.

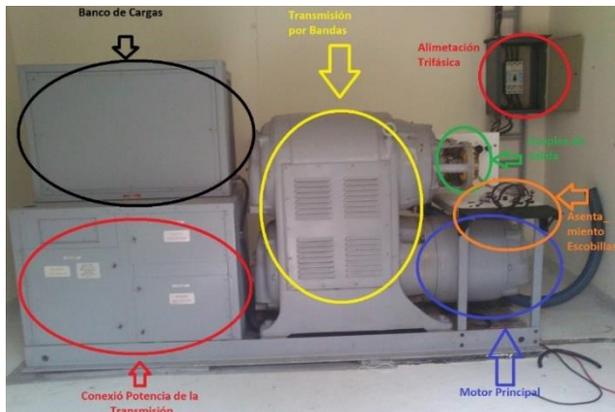


Figura 9. Módulo transmisión.

La prueba de asentamiento de escobillas está integrado con una estructura mecánica para la ubicación de generador y que este funcione como un motor DC, utiliza el módulo del OPLC para su activación y ventilación, además se energiza con una fuente que entrega 28Vdc y 130 Amp. En la Figura 10 se muestra el banco de pruebas implementado.



Figura 10. Módulo asentamiento escobillas.

B. Alcances y limitaciones

Se detalla los alcances obtenidos en el transcurso del proyecto.

- Es posible el control y la supervisión del sistema de generación gracias a la utilización de la consola de control.
- Se muestra en forma gráfica la información que tiene el OPLC, además, permite al operador dar comandos al OPLC para la ejecución final en el proceso.
- El OPLC al ser un operador gráfico y PLC incorporado no requiere un I/O Server para la comunicación entre el HMI y el controlador.
- Acceso entendible para el operador e identificación de eventos y alarmas mediante luces indicadoras.

- Acciones de control y seguridad cuando se hayan alcanzado los límites máximos y mínimos de operación.
- Lenguaje de programación entendible al estar distribuido en subrutinas, además, permite la inspección de sus elementos en tiempo real mediante la herramienta Test Online.
- El banco de prueba de generadores, permite verificar todos los parámetros requeridos para el funcionamiento óptimo de los generadores de la aeronave A-29B.
- El asentamiento de escobillas de los generadores se realiza mediante una estructura incorporada en el módulo de transmisión y se activa mediante el OPLC.

Las limitaciones encontradas en el proyecto son:

- Al poseer un variador de velocidad por engranajes, se debe realizar mantenimiento semestral, y no se puede realizar un control óptimo del consumo de energía eléctrica.
- Al ser un OPLC con un HMI de limitadas características, no se puede realizar gráfica de tendencias, además posee una resolución baja de 320x240 pixeles.
- No se puede realizar la prueba de generación y el asentamiento de escobillas al mismo tiempo, es necesario cambiar la ubicación del generador y sus conexiones.
- El motor de la ventilación produce vibraciones debido al desgaste de sus aspas.

V. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un banco de pruebas mediante un controlador lógico programable para los generadores arrancadores de las aeronaves Super Tucano A-29B, en el Ala de Combate N°23 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana -Manta.
- La distribución del banco de pruebas en cuartos separados, permite preservar la integridad física del personal y evitar accidentes producidos en el cuarto de transmisión.
- Al utilizar un OPLC, se puede controlar y supervisar el banco de pruebas de manera integral, al ser un controlador lógico programable con operador gráfico incorporado compacto.
- El programa en estructura Ladder diseñado e implementado en el OPLC, permite accionar los diversos procesos del banco de pruebas, al ser un lazo de control dividido en subrutinas vinculadas entre sí.
- Para declarar las entradas y salidas se debe asignar a los diversos puertos a memorias internas del OPLC mediante la configuración de Hardware.
- El HMI implementado es amigable con el operario, permite la interacción entre el usuario y el banco de pruebas mediante variables asignadas a la pantalla táctil del OPLC.
- La utilización de un motor de transmisión por bandas, emula al motor de combustión de la aeronave y verificar la operación dentro de los rangos de funcionamiento de los generadores.

- El empleo de un módulo de cargas resistivas, facilitó la simulación de cargas eléctricas que se presentan en la aeronave, de esta manera se verifica el funcionamiento de los generadores arrancadores del A-29B.
- La implementación del banco de pruebas, permite evaluar las condiciones operativas del generador al ser sometido a varios procedimientos de comprobación y análisis.
- El diseño modular del banco de pruebas, ayuda al usuario a desmontar y ensamblar fácilmente sus módulos al momento de realizar tareas de mantenimiento.
- La implementación de una clave de ingreso en el HMI, controla el acceso de usuarios no autorizados con el fin de evitar accidentes y el manejo indebido del software.

VI. RECOMENDACIONES

- Para la correcta operación del banco, debe existir la señalización adecuada de cada elemento dentro de los módulos, lo que permite un fácil manejo.
- Se debe realizar una calibración anual de los instrumentos de medición, para garantizar el buen desempeño del banco de pruebas.
- Es necesario que los sistemas electromecánicos que actualmente están en uso como: motor por transmisión, ventilación y variador de frecuencia, se cambien por equipos de tecnología actualizada.
- Un correcto desempeño del banco de pruebas dependerá de la capacitación técnica del personal autorizado, conocimiento previo del funcionamiento, el adecuado manejo de los dispositivos y el uso correcto de manuales y procedimientos.
- Es indispensable utilizar cables y conectores de aviación, para las instalaciones eléctricas debido a la precisión, eficiencia y confiabilidad de los equipos utilizados.
- Es necesario contar con un módulo de expansión del OPLC Vision 280, para incorporar más entradas y salidas e interactuar dentro del mismo HMI que se implementó con una adecuada configuración.
- Dentro de los procedimientos para operar el banco de pruebas de los generadores de la sección aviónica es indispensable los equipos de protección como: guantes, protectores de oídos, zapatos de goma y extintor.

RECONOCIMIENTOS

A Dios, por brindarnos sabiduría y fortaleza durante nuestra carrera universitaria y en especial en el proyecto de grado, por ser la luz que guió nuestro camino durante tantos viajes y acompañarnos en momentos difíciles.

A nuestras familias, por su incondicional apoyo, consejos y darnos la mano para levantarnos de tantos tropiezos. ¡Gracias por formar parte de este gran sueño!

Al Ala de Combate N° 23 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana de Manta, en especial al Escuadrón de Mantenimiento N° 23-23 sección Aviónica, por confiar en nosotros y permitirnos realizar el proyecto de finalización de carrera. Vaya nuestro

agradecimiento sincero al Sgop. Francisco Salgado y Sgop Wuillan Veintimilla por brindarnos su amistad, consejos y compartir sus conocimientos durante la elaboración de nuestra tesis.

Al Ing. Galo Ávila Director e Ing. Marco Pilatásig Codirector, por su colaboración, tiempo y acertada guía durante el desarrollo del proyecto de fin de carrera.

VII. REFERENCIAS

- [1] M. Muñoz, «MANUAL DE VUELO,» [En línea]. Available: <http://www.manualdevuelo.com/ZIPS/MANUAL%20de%20vuelo.pdf>. [Último acceso: 13 Mayo 2014].
- [2] R. Leaña, TEXTO DE ELT 260 MAQUINAS ELECTRICAS DE C.A. I, La Paz.
- [3] «e-educativa.catedu.es,» [En línea]. Available: http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1101/html/3_transmisin_por_poleas_y_correas_o_cadenas.html. [Último acceso: 17 Junio 2014].
- [4] F. Martín, *REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS*, Alicante: España, 2005.
- [5] WEG, *Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento*, 2010.
- [6] L. Duarte, «Capítulo 30 Fuerza y momentos de torsión en un campo eléctrico,» Awesome.Inc, Mexico, 2012.
- [7] WITH ILLUSTRATED PARTS LIST COMMUNICATIONS., *Manual, C. M., Illustrated, W., & List, P*, New York, 2003.
- [8] Industrial Automation System Unitronics, *Vision OPLC User Guide*, Nueva Inglaterra: Unitronics, 2004.



Escobar Andrea. Nació en Ambato provincia de Tungurahua en Ecuador. Realizó sus estudios de bachillerato en el Colegio Particular de la “Inmaculada Concepción”, Ambato – Ecuador donde obtuvo el título de Bachiller, especialización Físico Matemático.

Actualmente se encuentra finalizando sus estudios de Ingeniería en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga – Ecuador.

e-mail: amescobar@espe.edu.ec
escobarortiz.m@gmail.com.



Bassante Víctor. Nació en Latacunga provincia de Cotopaxi en Ecuador. Realizó sus estudios de bachillerato en el Colegio Técnico Particular “Hermano Miguel”, Latacunga – Ecuador donde obtuvo el título de Bachiller Técnico, especialización Electrónico.

Actualmente se encuentra finalizando sus estudios de Ingeniería en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga – Ecuador.

e-mail: vsbassante@espe.edu.ec
vsbassante.90@gmail.com.

Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga – Ecuador.