



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN.**

AUTORES: ESCOBAR ORTIZ ANDREA MARCELA

BASSANTE SEGOVIA VÍCTOR SANTIAGO

**TEMA: “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.”**

DIRECTOR: ING. ÁVILA GALO

CODIRECTOR: ING. PILATÁSIG MARCO

LATACUNGA, SEPTIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN
CERTIFICADO

Ing. Galo Ávila (Director)

Ing. Marco Pilatásig (Codirector)

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “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.”, realizado por Andrea Marcela Escobar Ortiz y Víctor Santiago Bassante Segovia. Ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de alto contenido de investigación, que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en forma portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Andrea Marcela Escobar Ortiz y Víctor Santiago Bassante Segovia que lo entregue a la Ing. Nancy Guerrón, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, 19 de Septiembre del 2014.

Ing. Galo Ávila.
DIRECTOR

Ing. Marco Pilatásig.
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Escobar Ortiz Andrea Marcela

Bassante Segovia Víctor Santiago

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “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.”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas ubicadas al final de cada párrafo, cuyas Fuentes son incluidas en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, 19 de Septiembre del 2014.

Escobar Ortiz Andrea Marcela
C.C.1803981461

Bassante Segovia Víctor Santiago
C.C. 0503497992

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Escobar Ortiz Andrea Marcela

Bassante Segovia Víctor Santiago

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo titulado “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.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad y autoría.

Latacunga, 19 de Septiembre del 2014.

Escobar Ortiz Andrea Marcela
C.C.1803981461

Bassante Segovia Víctor Santiago
C.C. 0503497992

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a Dios. A mi Mamá Marianita, por enseñarme a ser una mujer perseverante, fuerte y soñadora. A mi Papá Marcelo cuyos consejos han hecho que jamás me rinda y sus bendiciones desde el cielo me acompañen. A mi hermano Pablito, por ser la luz de mis ojos, mi amigo incondicional y apoyarme siempre. A Daniel, por haberme acompañado durante mi carrera universitaria y ser parte de mi vida.

Andrea

Dedico el presente proyecto de tesis a mis Padres, Delia y Manuel, que con su esfuerzo y perseverancia han logrado superar a sus hijos profesionalmente y hacer de ellos personas integras llenas de valores y virtudes. A mis hermanos, Diego, Paúl y Manuel, quienes de una forma u otra han abierto paso para que el recorrido hacia el éxito sea fructífero, con su ejemplo, amistad, amor y consejos.

Víctor

AGRADECIMIENTO

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.

Andrea y Víctor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICADO.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	1
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Descripción del problema.....	1
1.3. Sistema eléctrico de la aeronave	2
1.3.1. Componentes del sistema eléctrico	3
1.4. Generador.....	7
1.4.1. Funcionamiento del generador	8
1.5. Motor de transmisión.....	9
1.5.1. Trapezoidales	10
1.5.2. Redondas	10
1.5.3. Planas.....	10
1.5.4. Dentadas	10
1.6. Variador de velocidad	11
1.7. Asentamiento de escobillas	12

1.8.	Sistema de medición del banco de pruebas	13
1.8.1.	Voltímetro	13
1.8.2.	Amperímetro	14
1.8.3.	Tacómetro	15
1.9.	Unidad de control de generación (GCU)	16
1.9.1.	Descripción de la GCU 51525-014D.....	16
1.9.2.	Diseño y construcción de la GCU	16
1.9.3.	Operación de la GCU	18
1.10.	OPLC	21
1.10.1.	Software VisiLogic.....	22
1.10.2.	Descripción técnica	23
CAPÍTULO II		27
2.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	27
2.1.	Croquis del banco de pruebas	27
2.2.	Propósito del banco	28
2.3.	Características generales	29
2.3.1.	Módulo de alimentación.....	29
2.3.2.	Módulo de instrumentos	30
2.3.3.	Módulo de osciloscopio	30
2.3.4.	Módulo de control	31
2.3.5.	Módulo de GCU.....	32
2.3.6.	Mesa.....	32
2.3.7.	Transmisión	33
2.4.	Descripción módulo banco de pruebas.....	34
2.4.1.	Diagrama de bloques del banco	34
2.4.2.	Análisis detallado del sistema eléctrico	35
2.5.	Programación del OPLC	38

2.5.1. Configuración de hardware del OPLC	39
2.5.2. Programación en Ladder del OPLC.....	41
2.5.3. Descripción HMI	56
CAPÍTULO III	71
3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
3.1. Introducción	71
3.2. Descripción física y detalle de construcción del banco de pruebas ...	71
3.3. Pruebas de funcionamiento de los equipos	73
3.3.1. Módulo de potencia	74
3.3.2. Módulo de instrumentos	74
3.3.3. Módulo osciloscopio	76
3.3.4. Módulo OPLC	77
3.3.5. Módulo GCU.....	87
3.3.6. Módulo transmisión.....	87
3.3.7. Módulo asentamiento de escobillas.....	91
3.4. Análisis de resultados	92
3.4.1. Generación de voltaje sin GCU sin cargas	92
3.4.2. Generación con GCU sin cargas	95
3.4.3. Generación con GCU y cargas.....	97
3.5. Alcances y limitaciones	129
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
CAPÍTULO IV.....	131
4.1. Conclusiones	131
4.2. Recomendaciones	132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	134
ANEXOS	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Batería Ni-Cd.	4
Figura 1.2. Tipos de amperímetros.	5
Figura 1.3. Tipos de protecciones.	6
Figura 1.4. Partes de un generador.....	7
Figura 1.5. Tipos de conexiones.	8
Figura 1.6. Ubicación del generador arrancador en la aeronave.....	8
Figura 1.7. Partes del generador.....	9
Figura 1.8. Tipos de correas.....	11
Figura 1.9. Asentamiento escobillas.....	12
Figura 1.10. Funcionamiento voltímetro.	14
Figura 1.11. Funcionamiento de un amperímetro.....	15
Figura 1.12. Función de un tacómetro Pick-Up.	15
Figura 1.13. Unidad de control de generación.....	18
Figura 1.14. Sistema Vision.....	22
Figura 2.1. Croquis banco de pruebas generadores.	27
Figura 2.2. Banco de pruebas.	29
Figura 2.3. Vista general módulo de alimentación.....	30
Figura 2.4. Vista general módulo de instrumentos.	30
Figura 2.5. Vista general módulo de osciloscopio.	31
Figura 2.6. Vista general módulo de control.	31
Figura 2.7. Vista general módulo de GCU.....	32
Figura 2.8. Vista general mesa de trabajo.....	33
Figura 2.9. Diagrama de bloques del banco de pruebas.....	34
Figura 2.10. Ventana de programación Visilogic.	39
Figura 2.11. Ventana de configuración de hardware del OPLC.	39
Figura 2.12. Configuración de entradas.	40
Figura 2.13. Configuración salida OPLC.	41
Figura 2.14. Diagrama de flujo programa OPLC.	42
Figura 2.15. Secciones del programa en Ladder del OPLC.	42
Figura 2.16. Subrutina periodo de mantenimiento.....	43
Figura 2.17. Subrutina paso de pantalla.....	43
Figura 2.18. Subrutina movimiento de pantalla.	44

Figura 2.19. Subrutina scroll name Up/Down.....	44
Figura 2.20. Habilitación del password.....	45
Figura 2.21. Rutina motor principal.	46
Figura 2.22. Rutina señal RPM.	47
Figura 2.23. Rutina incremento/decremento de velocidad.	47
Figura 2.24. Subrutina control de ventilación.	48
Figura 2.25. Subrutina carga 10 amperios.	49
Figura 2.26. Subrutina de sobre velocidad.....	50
Figura 2.27. Subrutina paro de emergencia.	51
Figura 2.28. Subrutina tiempo de espera.	51
Figura 2.29. Subrutina parada automática.	52
Figura 2.30. Subrutina contador total.	53
Figura 2.31. Subrutina compuerta open.	53
Figura 2.32. Subrutina asentamiento de escobillas.....	54
Figura 2.33. Activación ítem lista de chequeo.....	55
Figura 2.34. Comprobación paso lista de chequeo.	55
Figura 2.35. Pantalla de bienvenida.....	56
Figura 2.36. Pantalla de datos del equipo.....	57
Figura 2.37. Pantalla de contraseña.....	58
Figura 2.38. Pantalla límites de operación.	59
Figura 2.39. Pantalla selección modo de operación.....	60
Figura 2.40. Pantalla conexión eléctrica del generador.....	61
Figura 2.41. Pantalla lista de chequeo 1.	62
Figura 2.42. Pantalla lista de chequeo 2.	62
Figura 2.43. Pantalla de prueba de generador.....	65
Figura 2.44. Pantalla de cargas.....	66
Figura 2.45. Pantalla de conexión eléctrica de asentamiento de escobillas.....	67
Figura 2.46. Pantalla lista de chequeo asentamiento escobillas.....	68
Figura 2.47. Pantalla configuración asentamiento escobillas.....	69
Figura 2.48. Pantalla asentamiento escobillas.	70
Figura 2.49. Pantalla de seguridad.....	70
Figura 3.1. Módulo de control implementado.	72
Figura 3.2. Módulo de transmisión.	72
Figura 3.3. Implementación banco asentamiento de escobillas.	73

Figura 3.4. Prueba de funcionamiento módulo de potencia.	74
Figura 3.5. Módulo de instrumentos implementado.....	75
Figura 3.6. Módulo de instrumentos en funcionamiento a 3156 RPM.	75
Figura 3.7. Módulo de instrumentos a 6259 RPM.	75
Figura 3.8. Módulo osciloscopio implementado.....	76
Figura 3.9. Módulo osciloscopio a 3000 RPM.	76
Figura 3.10. Módulo osciloscopio a 6000 RPM.	77
Figura 3.11. Módulo osciloscopio a 11000 RPM.	77
Figura 3.12. Pantalla de bienvenida implementada.....	78
Figura 3.13. Pantalla datos de placa del equipo implementada.	78
Figura 3.14. Pantalla de password implementada.....	79
Figura 3.15. Pantalla de seguridad implementada.	79
Figura 3.16. Pantalla límites de operación implementada.	80
Figura 3.17. Pantalla menú implementada.	81
Figura 3.18. Pantalla de conexiones eléctricas generador implementada.	81
Figura 3.19. Pantalla lista de chequeo 1 implementada.....	82
Figura 3.20. Pantalla de transmisión implementada.....	83
Figura 3.21. Pantalla de cargas implementada.	83
Figura 3.22. Pantalla conexión eléctrica asentamiento implementada.....	84
Figura 3.23. Pantalla lista de chequeo implementada.....	85
Figura 3.24. Pantalla de configuración tiempo asentamiento implementada. .	85
Figura 3.25. Pantalla asentamiento de escobillas implementada.....	86
Figura 3.26. Módulo OPLC implementado.	86
Figura 3.27. Módulo GCU implementado.	87
Figura 3.28. Transmisión por doble banda.....	88
Figura 3.29. Conexión arrancador suave trifásico motor principal.....	89
Figura 3.30. Terminales de conexión trifásica.	89
Figura 3.31. Variador de velocidad.....	90
Figura 3.32. Módulo asentamiento de escobillas implementado.....	92
Figura 3.33. Gráfica velocidad vs voltaje sin GCU y sin cargas.	93
Figura 3.34. Gráfica velocidad vs corriente sin GCU y sin cargas.....	93
Figura 3.35. Gráfica de velocidad vs voltaje con GCU y sin cargas.	95
Figura 3.36. Gráfica de velocidad vs corriente con GCU y sin Cargas.....	95
Figura 3.37. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 10 amperios.	97

Figura 3.38. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 10 amperios.....	97
Figura 3.39. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 20 amperios.	99
Figura 3.40. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 20 amperios.....	99
Figura 3.41. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 30 amperios.	101
Figura 3.42. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 30 amperios.....	101
Figura 3.43. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 40 amperios.	103
Figura 3.44. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 40 amperios.....	103
Figura 3.45. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 50 amperios.	105
Figura 3.46. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 50 amperios.....	105
Figura 3.47. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 60 amperios.	107
Figura 3.48. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 60 amperios.....	107
Figura 3.49. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 70 amperios.	109
Figura 3.50. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 70 amperios.....	109
Figura 3.51. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 80 amperios.	111
Figura 3.52. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 80 amperios.....	111
Figura 3.53. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 90 amperios.	113
Figura 3.54. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 90 amperios.....	113
Figura 3.55. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 100 amperios.	115
Figura 3.56. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 100 amperios.....	115
Figura 3.57. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 150 amperios.	117
Figura 3.58. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 150 amperios.....	117
Figura 3.59. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 200 amperios.	119
Figura 3.60. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 200 amperios.....	119
Figura 3.61. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 250 amperios.	121
Figura 3.62. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 250 amperios.....	121
Figura 3.63. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 300 amperios.	123
Figura 3.64. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 300 amperios.....	123
Figura 3.65. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 350 amperios.	125
Figura 3.66. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 350 amperios.....	125
Figura 3.67. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 400 amperios.	127
Figura 3.68. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 400 amperios.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Características físicas GCU.	18
Tabla 1.2. Características físicas OPLC.....	23
Tabla 2.1. Relación de equipos a probar.....	28
Tabla 2.2 Simbología y significado de terminales.	60
Tabla 3.1. Datos de placa del motor principal.	88
Tabla 3.2. Descripción salidas OPLC decremento/incremento de velocidad. ..	90
Tabla 3.3. Salidas del OPLC para las cargas.....	91
Tabla 3.4. Salidas del OPLC activación del motor principal y ventilación.	91
Tabla 3.5. Resultados de generación sin GCU y sin cargas.	94
Tabla 3.6. Resultados de generación voltaje y corriente con GCU.	96
Tabla 3.7. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 10 AMP.	98
Tabla 3.8. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 20 AMP.	100
Tabla 3.9. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 30 AMP.	102
Tabla 3.10. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 40 AMP. ...	104
Tabla 3.11. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 50 AMP. ...	106
Tabla 3.12. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 60 AMP. ...	108
Tabla 3.13. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 70 AMP. ...	110
Tabla 3.14. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 80 AMP. ...	112
Tabla 3.15. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 90 AMP. ...	114
Tabla 3.16. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 100 AMP. .	116
Tabla 3.17. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 150 AMP. .	118
Tabla 3.18. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 200 AMP. .	120
Tabla 3.19. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 250 AMP. .	122
Tabla 3.20. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 300 AMP. ..	124
Tabla 3.21. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 350 AMP. .	126
Tabla 3.22. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 400 AMP. .	128

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño y construcción de un banco de pruebas, mediante un controlador lógico programable, con panel operador incorporado y un HMI interactivo (OPLC) para los generadores arrancadores de las aeronaves Super Tucano A-29B, en el Ala de Combate N°23 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana de Manta. En el proyecto intervienen aéreas como: Controladores Lógicos Programables, Control de Procesos, Instrumentación Industrial e Instrumentación Virtual. El banco de pruebas posee cuatro módulos principales que son: Módulo de Transmisión, Consola de Control, Banco de cargas de Corriente Continua y Módulo de Asentamiento de Escobillas. Se utiliza una transmisión con motor trifásico controlado por un variador de velocidad, para simular la operación del motor de la aeronave y de esta forma el generador arrancador suministra energía eléctrica, la unidad de control de generación (GCU) limita y controla el voltaje de salida, se modifica las cargas de corriente continua para supervisar si el generador trabaja en los rangos aceptables de operación, mediante el módulo de instrumentos; además, verifica las formas de ondas de la corriente, voltaje por un osciloscopio instalado en la consola de control, de esta manera se afirma o descarta fallos en el equipo por sobre picos, sobre impulsos, ruido, distorsiones y desfases. Adicional a las pruebas de generación, el banco permite realizar el asentamiento de escobillas, para lo cual se debe configurar al generador como un motor de corriente continua durante un periodo de tiempo establecido.

PALABRAS CLAVES: OPERADOR GRÁFICO Y CONTROLADOR LÓGICO INCORPORADO, UNIDAD DE CONTROL DE GENERACIÓN, VISION 280V, GENERADOR ARRANCADOR, ASENTAMIENTO ESCOBILLAS.

ABSTRACT

This project aims at the design and construction of a tester bench by a programmable logic controller, with operator panel and built an interactive HMI (OPLC) for starters generators aircraft A-29B Super Tucano in the Ala de Combate No. 23 of the Ecuadorian Air Force Manta. Areas involved in the project as Programmable Logic Controllers, Process Control, Industrial Instrumentation and Virtual Instrumentation. The tester bench has four main modules are: Module Transmission Control Console, Load Bank Direct Current and Settlement Module Brushes. A transmission with three-phase motor controlled by a variable speed drive is used to simulate the operation of aircraft engine and thus the starter generator supplies electricity, generation control unit (GCU) limits and controls the output voltage , DC loads is modified to monitor the generator works in acceptable ranges of operation, by instrument module; also check the waveforms of current or voltage in the oscilloscope installed on the control console, so states or discarded equipment failure by overshoot on pulse, noise, distortions and gaps. Additional testing of generation, the bank allows the settlement of brushes, for which the generator must be configured as a DC motor for a period of time.

KEYWORDS: GRAPHIC OPERATOR PANEL AND PROGRAMABLE LOGIC CONTROLLER, GENERATOR CONTROL UNIT, VISION 280V, STARTER GENERATOR, BRUSH SETTLEMENT.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. 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.

1.2. Descripción del problema

El desarrollo del presente proyecto, permite dotar y equipar a la sección Aviónica del Ala de Combate N°23, de un banco de pruebas para generadores arrancadores, el mismo que ayudará a los técnicos aeronáuticos en la verificación y el funcionamiento del mismo luego de realizar el mantenimiento o al momento de la puesta en marcha del equipo.

El problema radica en el desarrollo de tareas de mantenimiento preventivo, correctivo y overhaul, o realizar pruebas de funcionamiento de los generadores.

Cabe recalcar que los aerotécnicos utilizan innecesariamente aeronaves para realizar el chequeo de los generadores arrancadores, lo que genera pérdida de recursos indispensables como: el tiempo de vuelo de las aeronaves y el tiempo de mantenimiento de los equipos, es evidente la implementación de un banco de pruebas que permita corroborar el estado y funcionamiento de los mismos.

Para la elaboración del banco de prueba de Generador Arrancador se diseñará una consola, la misma que consta de: una Fuente de poder externa, panel de instrumentación, panel de control, panel de interconexión GCU (Unidad de Control de Generación), un módulo de control de cargas DC, conjunto de sensores para la medición de los parámetros que se requiera como: voltaje, corriente, velocidad angular, cargas resistivas, y módulo de asentamiento de escobillas.

El ingreso de parámetros como las cargas del generador y el suministro de corriente para el arranque, se realizará desde un pantalla digital (Touch screen), por medio del cual se supervisa y adquiere datos. Los datos que se midan en el banco de pruebas se mostrarán adicionalmente en un módulo de instrumentación.

1.3. 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:

- 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.

Las antiguas aeronaves poseían un sistema de magnetos, los mismos, proporcionaban energía eléctrica exclusivamente al sistema de encendido por bujías del motor, era necesario mover la hélice a mano para el arranque del mismo.

“Hoy en día, los aviones están equipados con un sistema eléctrico cuya energía alimenta a otros sistemas y dispositivos. No obstante, para el encendido del motor se sigue utiliza un sistema de magnetos independiente, es decir que las magnetos no necesitan del sistema eléctrico para su operación. Gracias a esta característica, el corte del sistema eléctrico en vuelo no afecta para nada al funcionamiento normal del motor.” [1]

1.3.1. Componentes del sistema eléctrico

El sistema eléctrico consta básicamente de los siguientes componentes:

a. Batería

La batería, transforma y almacena la energía eléctrica en forma química. Esta energía almacenada se utiliza para arrancar el motor, y sirve como fuente de reserva limitada para uso en caso de fallo del alternador o generador.

Se debe acotar que por muy potente que sea una batería, su capacidad es insuficiente para satisfacer la demanda de energía de los sistemas e instrumentos del avión; la Figura 1.1 muestra la imagen de una batería de níquel- cadmio. [2]



Figura 1.1. Batería Ni-Cd.

Fuente: [3]

b. Generador/Arrancador

Movidos por el giro del motor, proporcionan corriente eléctrica al sistema y mantienen la carga de la batería. Se puede observar a un generador arrancador en la Figura 1.7.

El sistema eléctrico de la aeronave posee dos fuentes de energía: la batería y el generador.

La batería, se utiliza exclusivamente para alimentar al generador en el arranque, y se usará en emergencias como única fuente de alimentación; una vez puesto en marcha, es el generador quien pasa a alimentar el sistema eléctrico. [4]

c. Amperímetro

Es un instrumento utilizado para la medición de la intensidad de corriente eléctrica que recorre un circuito. Los amperímetros se deben conectar en serie con la rama del circuito que se desea medir, además, es utilizado para monitorizar el rendimiento del sistema eléctrico.

Existen amperímetros analógicos, digitales y térmicos, como se ilustra en la Figura 1.2. Los amperímetros tradicionales disponen de varias escalas, las

mismas que el fabricante es quien da las características técnicas de escalas y de rangos de medición.

El amperímetro muestra si el generador proporciona una cantidad de energía adecuada al sistema eléctrico. Este instrumento también indica si la batería recibe suficiente carga eléctrica.

Un valor positivo en el amperímetro indica que el generador aporta carga eléctrica al sistema y a la batería. Un valor negativo indica que el generador no aporta nada y el sistema se nutre de la batería. Si el indicador cambia de valores rápidamente indica un mal funcionamiento del sistema eléctrico. [5]

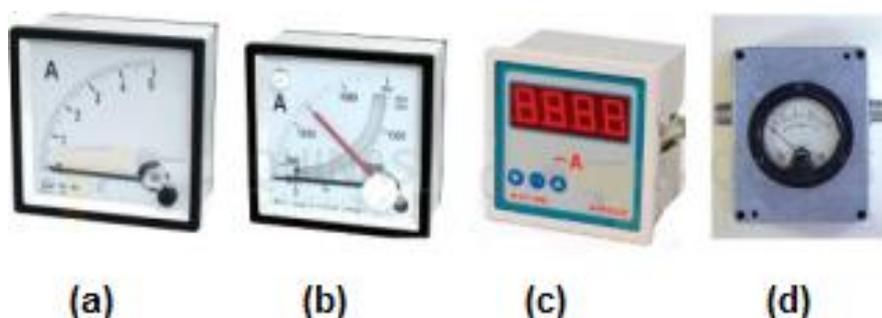


Figura 1.2. Tipos de amperímetros.

Analógico de bobina móvil;(b) Analógico de hierro móvil;
(c) Digital; (d) Amperímetro Térmico.

Fuente: [5]

d. Fusibles y circuitos de protección

Los equipos eléctricos están protegidos de sobrecargas por medio de fusibles y breakers. Los breakers o interruptores de circuito realizan una función similar a la de los fusibles, con la característica de ser restaurados manualmente. Los breakers tienen forma de botón por este motivo en una sobrecarga estos saltan, se restauran con solo pulsarlos nuevamente.

Existen diversos tipos de breakers en el mercado como se indica en la Figura 1.3.



Figura 1.3. Tipos de protecciones.

Fuente: [6]

Los fusibles o cortacircuitos no son más que una sección de hilo más fino que los conductores normales, colocado en la entrada del circuito a proteger, para que al aumentar la corriente, debido a sobrecargas o cortocircuitos, sea la parte que más se caliente y, por tanto, la primera en fundirse. Una vez interrumpida la corriente, el resto del circuito ya no sufre daño alguno.

Actualmente la parte o elemento fusible suele ser un fino hilo de cobre o aleación de plata, o bien una lámina del mismo metal para fusibles de gran intensidad, colocados dentro de unos cartuchos cerámicos llenos de arena de cuarzo, con lo cual se evita la dispersión del material fundido; por tal motivo también se denominan cartuchos fusibles.

Los cartuchos fusibles son protecciones desechables, cuando uno se funde se sustituye por otro en buen estado. [7]

e. Otros elementos

El sistema eléctrico consta de otros componentes como: reguladores, inversores de polaridad, contactores, transformadores o rectificadores, entre otros. La aeronave posee una barra de corriente también llamada bus eléctrico

que facilita la distribución de energía eléctrica para las conexiones de los diversos sistemas, de esta forma se reduce el excesivo cableado.

Puesto que los generadores producen corriente continua y los alternadores corriente alterna, el sistema está provisto de los correspondientes conversores, de corriente continua a alterna y viceversa. [1]

1.4. Generador

Un generador es una máquina eléctrica capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica o viceversa. Actúa como motor, si convierte energía mecánica a eléctrica o como generador, si cambia de energía eléctrica a energía mecánica.

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 1.4, está formado por dos partes fundamentales, la parte fija llamado estator y la parte móvil llamada rotor. [8]

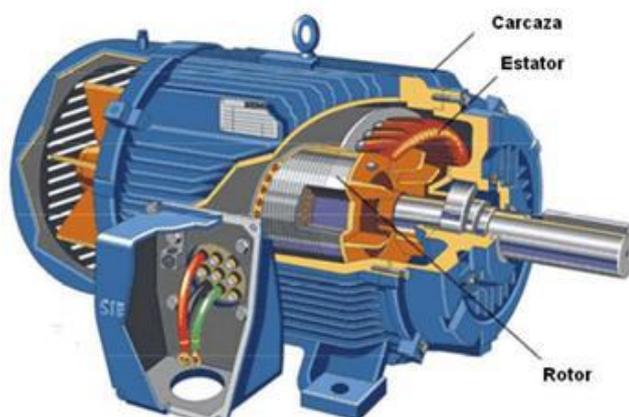


Figura 1.4. Partes de un generador.

Fuente: [9]

El rotor está formada por placas magnéticas de forma cilíndrica, donde se ubican conductores de aluminio cortocircuitados en sus extremos en torno a un eje, y el estator está formada por placas magnética, las mismas que alojan a las bobinas, las cuales, crean el campo magnético en varias ranuras desfasadas 120° con respecto a la anterior, estas bobinas pueden estar conectadas en configuración triangulo o en estrella como se muestra en la Figura 1.5. [9]

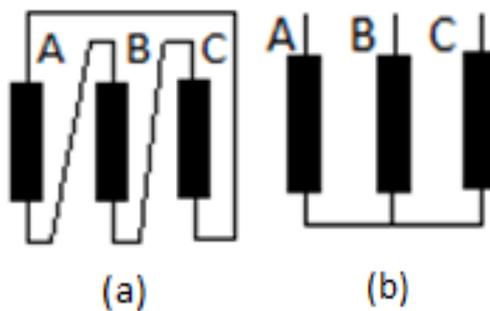


Figura 1.5. Tipos de conexiones.
 (a) Conexión triángulo.; (b) Conexión estrella.

Fuente: [10]

1.4.1. Funcionamiento del generador

El generador tiene dos funciones vitales en la aeronave durante el ciclo de arranque, la primera poner en marcha al motor de combustión, y la otra suministrar energía a todo el sistema eléctrico.

El generador arrancador está situado en la parte trasera del motor y está acoplado a la caja de accesorios como se indica en la Figura 1.6 [4]

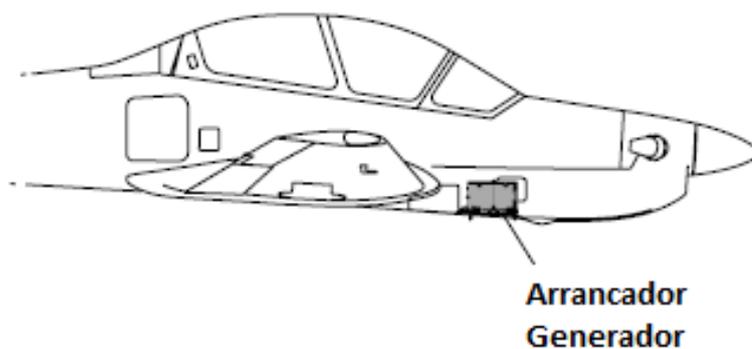


Figura 1.6. Ubicación del generador arrancador en la aeronave.

Fuente: [4]

Existen tres modos de arranque del motor en los que el generador puede activarse:

- Automáticamente.
- Manualmente.
- Monitoreada por el piloto siempre y cuando el avión esté en tierra.

El generador hace que el motor de hélice gire rápidamente para que exista combustión interna en el arranque de la aeronave y éste permanezca en ralentí. A partir de ese instante el generador suministra energía para todos los sistemas eléctricos del avión.

El generador posee un ducto de ventilación y cuatro terminales ubicados en un bloque marcados con letras A, B, D y E que se ve en la Figura 1.7.

Los terminales B y E suministra corriente a los bobinados del rotor y estator, al mismo tiempo se aplica tensión a los devanados de campo en los terminales A y D. [4]

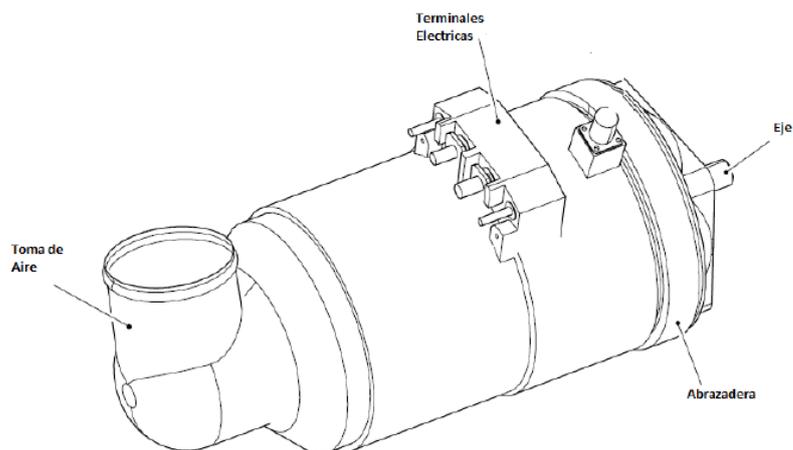


Figura 1.7. Partes del generador.

Fuente: [4]

1.5. 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. [11]

Las correas pueden ser de distintos tipos:

1.5.1. Trapezoidales

Son las más utilizadas, pues se adaptan firmemente al canal de la polea, de esta forma evitan el posible deslizamiento entre polea y correa.

1.5.2. Redondas

Se utilizan correas redondas cuando ésta se tiene que adaptar a curvas cerradas cuando se necesitan fuerzas pequeñas.

1.5.3. Planas

Cada vez de menor utilización, se emplean para transmitir el esfuerzo de giro y el movimiento de los motores a las máquinas.

1.5.4. Dentadas

Las correas dentadas, que además son trapezoidales, se utilizan cuando es necesario asegurar el agarre. En ellas el acoplamiento se efectúa sobre poleas con dientes tallados que reproducen el perfil de la correa. Este tipo es el más empleado en las transmisiones de los motores de los automóviles.

La Figura 1.8 ilustra los diversos tipos de correas que se utiliza en las transmisiones por bandas.

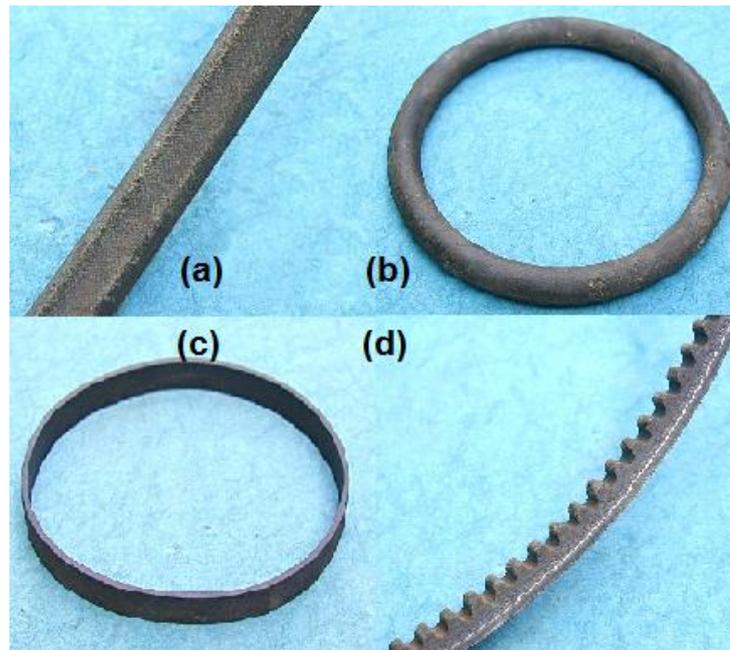


Figura 1.8. Tipos de correas.
Trapezoidales; (b) Redonda;(c) Planas;(d) Dentadas.

Fuente: [11]

1.6. 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. [12]

1.7. 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 1.9.

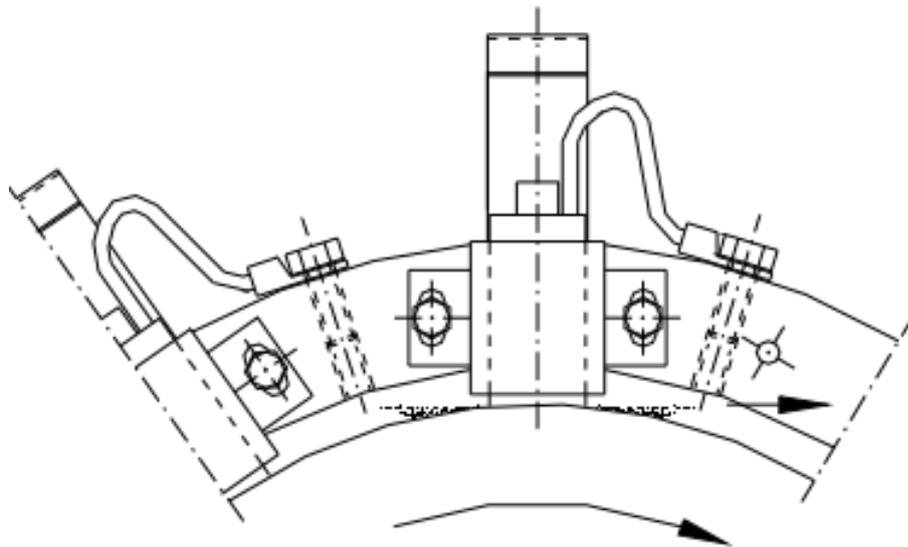


Figura 1.9. Asentamiento escobillas.

Fuente: [13]

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.

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. [13]

1.8. Sistema de medición del banco de pruebas

El banco de prueba de generador arrancador se diseña en una consola, la misma que consta de: [14]

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

1.8.1. Voltímetro

El voltímetro es un instrumento que permite realizar la medición de la diferencia de potencial, es decir, mide tensión eléctrica (Voltios) entre dos puntos. Su conexión es en configuración paralela al elemento que se desea conocer su voltaje.

Existen varios tipos de voltímetros según su funcionamiento, como:

- Voltímetros electromecánicos.
- Voltímetros digitales.
- Voltímetros analógicos.

Básicamente un voltímetro es un galvanómetro, al cual se le coloca una resistencia. Se aplica la ley de ohm, en donde el voltaje es igual a la corriente que circula por el circuito multiplicado por una resistencia que entrega tensión.

Esta resistencia recibe el nombre de resistencia de conversión, porque “convierte” la tensión aplicada en una corriente proporcional, esta ingresara al galvanómetro como lo indica la Figura 1.10. [14]

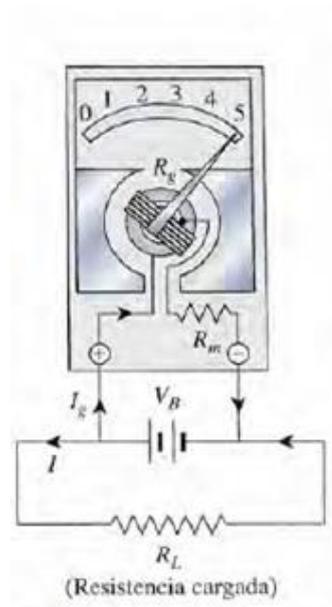


Figura 1.10. Funcionamiento voltímetro.

Fuente: [14]

1.8.2. Amperímetro

Un amperímetro es un instrumento que se utiliza para medir la intensidad de corriente (Amperios) que circula por un circuito. Existen varios tipos de amperímetros según su funcionamiento, como:

- Amperímetros electromagnéticos.
- Amperímetros electrodinámicos.
- Amperímetros digitales.

Básicamente, el amperímetro es un simple galvanómetro con una resistencia shunt. Dispone de una gama de resistencias en derivación por lo que se obtiene un amperímetro con varios rangos o intervalos de medición como se muestra en la Figura 1.11. Los amperímetros tienen una resistencia interna muy pequeña, por debajo de 1 ohmio, con la finalidad de que su presencia no disminuya la corriente a medir cuando se conecta a un circuito eléctrico.

En un amperímetro digital la lectura del conversor es leída por un microprocesador, que realiza los cálculos y presentarlos en un display numérico el valor de la corriente eléctrica circulante. [14]

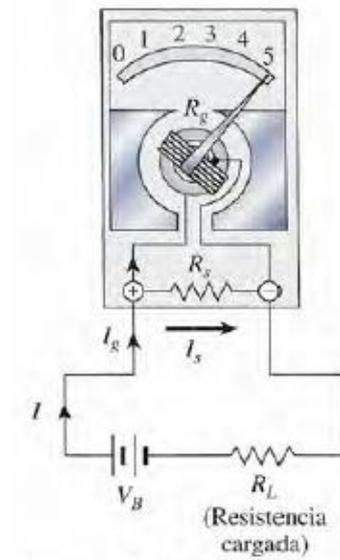


Figura 1.11. Funcionamiento de un amperímetro.

Fuente: [14]

1.8.3. Tacómetro

Un tacómetro es un dispositivo que mide la velocidad de giro de un rotor de un motor o una turbina, como se observa en la Figura 1.12. Se mide en revoluciones por minuto (RPM). Actualmente se utilizan con mayor frecuencia los tacómetros digitales, por su mayor precisión.

El tacómetro ayuda que el banco no tenga averías y daños por sobre revoluciones, además el mantenimiento de engranes y bandas es de mucha ayuda gracias a este instrumento. [15]

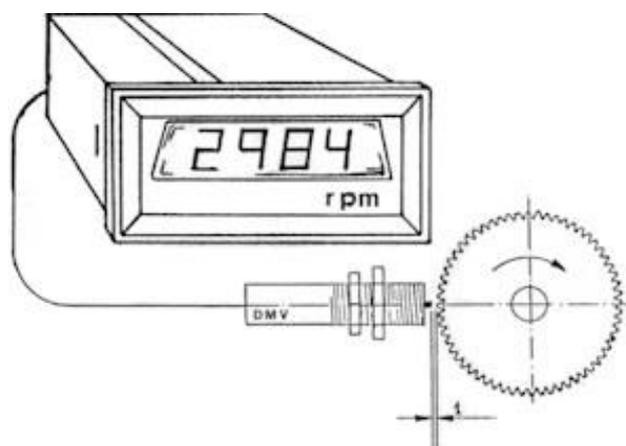


Figura 1.12. Función de un tacómetro Pick-Up.

Fuente: [15]

1.9. Unidad de control de generación (GCU)

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. [4]

1.9.1. Descripción de la GCU 51525-014D

La unidad de control de generación está basada en un microprocesador, con disipadores por convección, una unidad de regulación de voltaje, control y lógica de protección de los sistemas coordinada durante el funcionamiento normal y anormal del generador, de tal manera, todos estos sistemas en conjunto permitan el desempeño apropiado del generador, tanto en el arranque, como en el suministro de energía a los diversos elementos eléctricos y electrónicos de la aeronave.

La GCU, está montada en una caja de aluminio que le proporciona protección, además, permite la disipación de calor para los elementos eléctricos y electrónicos que así lo requieran. En el chasis o placa base se encuentra alojado el circuito electrónico y dos placas de circuitos impresos. [4]

1.9.2. Diseño y construcción de la GCU

La función de regulación de voltaje de la GCU es de estado completamente sólido y no tiene piezas móviles. El diseño y construcción de los componentes de la GCU permiten obtener una vida útil mínima de cinco años, sin embargo, las pruebas de aceptación se deben hacer antes de su

puesta en marcha. La GCU no contiene ningún líquido o gas, que dependan de temperaturas elevadas para su funcionamiento.

a. Resistencia a la corrosión

La GCU esta construida completamente de materiales resistentes o procesados para resistir a la corrosión. La corrosión electrolítica se evita mediante el diseño de contacto mínimo entre metales diferentes. Cuando el contacto es inevitable, se proporciona la protección adecuada entre dos superficies contiguas.

b. Materiales no metálicos

Los materiales no metálicos utilizados en la GCU son resistentes a la humedad y no permiten el crecimiento de hongos. Estos materiales no se ven afectados por el clima, la luz del sol, los líquidos de las aeronaves, las temperaturas, y las condiciones ambientales encontradas durante la operación de los aviones. No se utilizan materiales de alta combustión.

c. Acabados.

Las piezas de aleación de aluminio están adonizadas según MIL-A-8625 o reciben una película química de la norma MIL-C-5541. Para las conexiones eléctricas las disposiciones del gabinete y del montaje permiten la unión eléctrica de acuerdo con MIL-B5087 cuando la unidad se ha instalado en la aeronave.

d. Rigidez dieléctrica

La rigidez dieléctrica es un potencial de 220 a 250 V (rms), por un minuto entre el zócalo de los pines y el chasis.

e. Datos principales.

Las características físicas más relevantes de la GCU se muestran a continuación en la Tabla 1.1, y las partes más importante se indican en la Figura 1.13.

Tabla 1.1. Características físicas GCU.

CARACTERISTICAS	GCUA 51525-014D
Altura	4,17 pulgadas (105,929mm) máx.
Ancho	3,50 pulgadas (88,9mm) máx, (4,42 pulgadas (112mm) base incluida
Longitud	6,22 pulgadas (158mm) máx.
Peso	2,5 lbs. (1,14 Kg) máx.

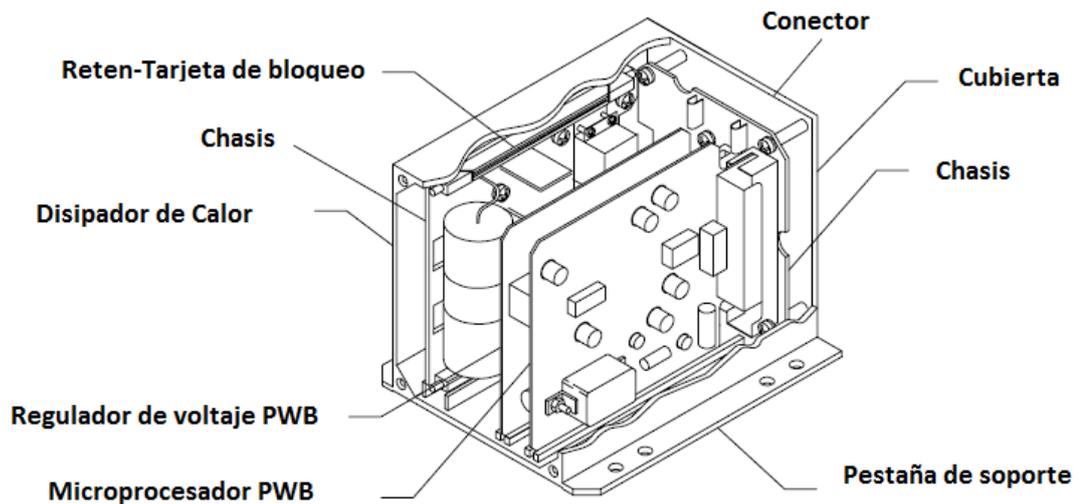


Figura 1.13. Unidad de control de generación.

Fuente: [4]

1.9.3. Operación de la GCU

a. *Microprocesador*

La CGU utiliza un microprocesador para proporcionar protección y el algoritmo de control. El controlador incorpora un microprocesador con memoria RAM, memoria programable, un puerto de comunicación serial, y dos contadores/temporizadores. El controlador maestro es una fuente de poder

regulada, cuenta con un conversor analógico digital (A/D) de 12 bits a 8 canales, y un watchdog timer.

b. Interface eléctrica

La GCU está diseñada para operar como indica Goodrich Corporation model number 23080-060 DC Starter-Generators. Todas las conexiones eléctricas de la unidad se las realiza a través de un conector cilíndrico. [16]

c. Función de control

Regulador de voltaje

La salida de voltaje es regulada mediante modulación por ancho de pulso (PWM) que conmuta la tensión aplicada al campo del generador para producir corriente DC. Mediante el ajuste del ciclo de trabajo del PWM, la corriente de campo se limita para encontrar el punto de regulación de voltaje (POR).

El regulador de voltaje emplea un controlador Proporcional Integral Derivativo (PID). El componente proporcional establece rápidamente el ciclo de trabajo de PWM para aproximar el nivel de voltaje requerido. El control integral sintoniza con precisión la regulación de manera que se adapta exactamente a la tensión de referencia.

El control derivativo elimina cualquier error causado por la componente proporcional, y este último compensa los movimientos de alta ganancia del integral. El resultado es un regulador estable con rango de velocidad, cargas y condiciones ambientales aceptables.

Transistor de campo / Protección de corto circuito

El MOSFET es altamente eficiente, lo que indica un excelente funcionamiento y una mayor fiabilidad, el controlador de campo activa el canal N del MOSFET.

El transistor de campo está protegido contra sobrecargas debido a errores en el cableado del generador, aeronave u otras fuentes de cortocircuito. Si

ocurre una sobrecarga, la corriente de salida del transistor de campo está limitada por PWM.

El nivel de limitación de corriente tiene una rigidez característica; mayor gravedad de falla, mayor nivel de limitación. Si el fallo se mantiene durante más de 500 ms. El campo es disparado por el microcontrolador.

Operación en paralelo (Nivelación de carga)

La GCU utiliza el programa del controlador PID para compensar las cargas cuando más de un canal opera en paralelo. Cuando la GCU cierra su contactor de línea en paralelo con GCU inversa, el bus de nivelación activa un lazo de detección de corriente.

El bus de nivelación, conecta la señal de detección de canal de corriente inversa del generador a través de la resistencia de derivación (shunt). La nivelación se logra cuando no circula corriente a través de la señal de lazo que indica un balance entre el interpolo y el canal inverso.

El microprocesador detecta errores de corriente, mediante un conversor analógico digital (A/D) y utiliza las mediciones de nivel para generar una tensión de referencia a través de un conversor digital analógico (D/A). La compensación en el regulador de voltaje se nivela al elevar o disminuir la tensión de salida y no permite desviaciones mayores de ± 2.5 Vdc. [16]

Limitaciones de corriente

La GCU tiene la capacidad de limitar la corriente del generador. Estas son activadas mediante la conexión de la entrada de corriente límite de arranque interconectada a una fuente de + 28 Vdc. La función de control de corriente límite está totalmente controlada y presentada por software.

Control de contactores

El microprocesador habilita los contactores para energizar el relé de línea o relé de arranque. La energía para los contactores es suministrada a través de los conductores de control de aviones, se asegura el desacople del

contactor de corriente fuera del control de la GCU. La bobina de interrupción de redundancia esta suministrada por contactos de relé.

Protección de cortocircuito

Cada controlador de contactor puede suministrar 8 A para la acometida de corriente. El controlador del contactor de arranque está diseñado para 5 A corriente continua, el bus del contactor de línea es de 4 A, similar al transistor de protección de sobrecarga.

Los controladores de contactares están protegidos contra cortocircuitos por un limitador de corriente de modo de pulso.

Control de arranque y protección

El contactor de arranque (KSR) es energizado por la GCU cuando el interruptor de arranque se cierra y la velocidad del generador está por debajo del umbral de corte. La velocidad se mide a través de la unidad de generador magnético pick-up unit la cual produce 42 pulsos por cada giro del eje del generador. [4]

1.10. OPLC

El Controlador Lógico Programable con Panel Gráfico de Operador (de sus siglas en inglés Graphic Operator Panel & Programable 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 1.14 se muestra un OPLC con un módulo de expansión de entradas.

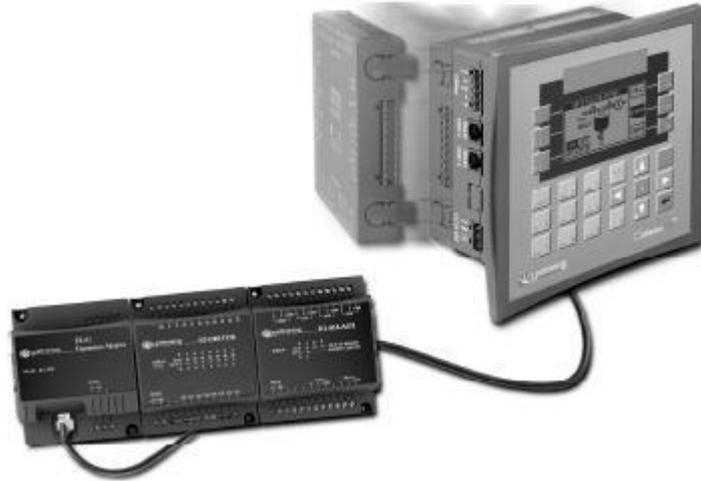


Figura 1.14. Sistema Vision.

Fuente: [17]

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. [18]

1.10.1. Software VisiLogic

VisiLogic es el software utilizado para crear proyectos en los controladores Vision. Después de diseñar la tarea de control, se aplica VisiLogic para escribir, depurar, y descargar el algoritmo control y las aplicaciones HMI en el OPLC.

La aplicación del OPLC se programa a través el editor Ladder, a la vez, el editor HMI para crear los displays que se muestran en la pantalla del controlador.

Los displays indican a sus operadores como actuar. Puede hacer que los operadores se registren con una contraseña, introducir puntos de consigna e indicar al operador qué acciones tomar en caso de presentarse problemas de

sistema o alarmas. Un display puede contener tanto texto como imágenes. Los textos e imágenes pueden ser fijos y/o variables. [19]

Las variables se introducen en el display para:

- Mostrar valores en tiempo real como enteros.
- Representar valores en tiempo real con texto, imágenes o barras gráficas.
- Mostrar mensajes de texto dinámicos en función de las condiciones de ejecución.
- Permitir a un operador introducir datos mediante el teclado alfanumérico de Vision.

1.10.2. Descripción técnica

a. *Visión OPLC 280*

En la Tabla 1.2, se indica las características físicas más importantes de la GCU.

Tabla 1.2. Características físicas OPLC.

CARACTERISTICAS	DESCRIPCION
Dimensiones	260x155x72 mm.
Montaje	Montaje en panel a través de los soportes.
Fuente de alimentación	12 o 24 Vdc.
Reloj de tiempo real (RTC)	Habilita las funciones del controlador de tiempo y fecha.
Batería de respaldo	Protege el reloj de tiempo real y los datos del sistema.

b. Panel de funciones

Los paneles de operación comprenden la pantalla táctil y un teclado. La pantalla LCD visualiza el texto definido por usuario, señales seleccionadas por el programa del HMI, imágenes diseñadas por el usuario y permite asignar “tags” a texto y objetos gráficos. [18]

Posee un teclado alfanumérico y 9 teclas de función.

c. Entradas y Salidas.

El controlador puede soportar hasta 158 I/Os (entradas/salidas). Las I/Os se integran en el sistema a través de módulos de expansión y Snap-in. [17]

Módulo Snap-in I/O

Estos módulos de entrada/salida se conectan fácilmente en la parte posterior del controlador, de esta manera proporciona una configuración extra de entradas y salidas analógicas y digitales.

Módulo de expansión

Los puertos de expansión del controlador permiten hasta 8 módulos para ser conectados al OPLC.

d. Comunicación***RS232***

El controlador dispone de 2 puertos COM. Los que pueden ser utilizados para descargar los programas desde la PC, o para establecer la comunicación con los dispositivos que utilizan el protocolo RS232.

CANbus

El controlador proporciona un puerto para redes CANbus.

Puertos adicionales de comunicación

Puerto RS485 según el modelo de OPLC.

e. Programación

Para la programación de OPLC comprende tanto las aplicaciones del PLC y el HMI. Se puede escribir las dos aplicaciones del programa a través de una PC utiliza el software de VisiLogic.

Aplicación del PLC

La aplicación del PLC es el programa que permite al controlador realizar sus tareas de automatización.

Visilogic permite al programador:

- Generar aplicaciones del PLC mediante elementos y funciones Ladder.
- Crear un programa modular, compuesto por subrutinas independientes que pueden ser llamados a las aplicaciones del PLC en cualquier momento.

Aplicación HMI

HMI significa “Human Machine Interface”, es decir, es el dispositivo o sistema que permite la comunicación entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como: luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso. En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas. [20]

Las aplicaciones personalizadas del HMI del operador permiten:

- Asignar funciones a los botones del teclado, a los objetos de la pantalla táctil y permite al operador introducir datos mediante el teclado del control.

- Crea y mostrar texto, imágenes gráficas, mostrar datos de las variables del sistema en tiempo real y ejecución de condiciones.

Aplicación Ladder

El diagrama en escalera es un lenguaje de programación gráfico derivado de los esquemas de circuitos de los mandos por relés directamente cableados.

Tiene dos líneas verticales, la de la izquierda puesta a una fuente de tensión y la de la derecha puesta a tierra. Entre estas se tienen líneas de alimentación de derecha a izquierda, entre ellas están conectados los renglones conocidos como escalones o peldaños que son la parte más simple del esquema.

Se leen siempre de izquierda a derecha, se componen de: contactos, bloques de comparación, elementos de bobina, temporizadores, contadores, bloques o módulos de función y de programa. [21]

Las aplicaciones de la programación en escalera permiten al operador:

- Colocar y conectar elementos de Ladder.
- Aplicar comparadores, matemáticas, lógica, reloj y funciones vectoriales.
- Insertar bloques de función (FB) en su programa.
- Construir módulos y subrutinas del programa, y el uso de subrutinas internas, saltos y etiquetas.

CAPÍTULO II

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

2.1. Croquis del banco de pruebas

Se utiliza dos cuartos 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 cuarto 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 cuartos 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.

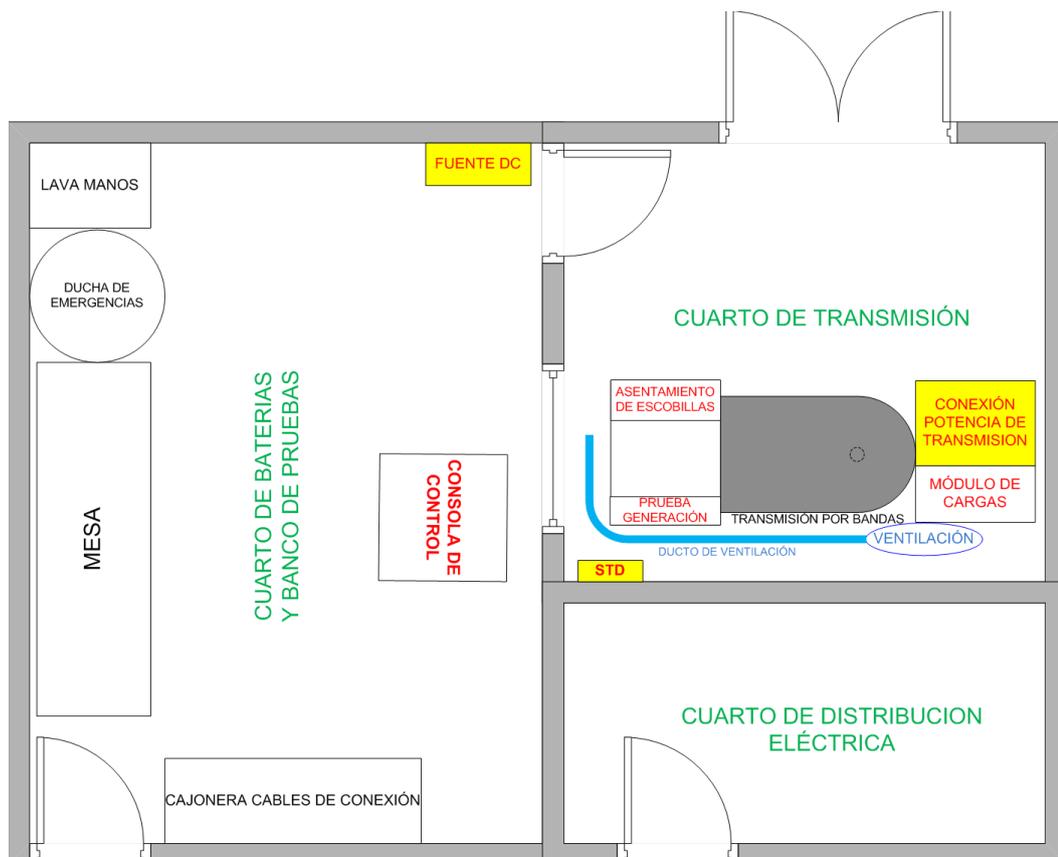


Figura 2.1. Croquis banco de pruebas generadores.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

La Figura 2.1, permite identificar por medio de un plano cómo está distribuido el banco de pruebas.

2.2. Propósito del banco

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 2.1. Relación de equipos a probar.

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 2.1. 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

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

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, como se visualiza en la Figura 2.2 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.

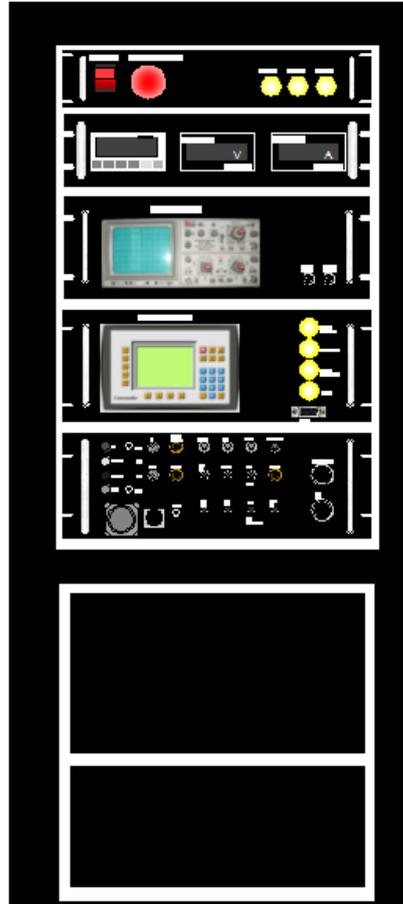


Figura 2.2. Banco de pruebas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

2.3. Características generales

2.3.1. Módulo de alimentación

Permite la distribución de la potencia eléctrica de 220 Vac a 60 Hz con tres fases, hacia la consola tanto para la alimentación de los módulos, equipo de prueba como los circuitos de control del generador. La Figura 2.3 muestra los dispositivos con los que cuenta el módulo, posee un botón de parada de emergencia, el cual desenergiza y bloquea la transmisión en caso de parada súbita, fuego o alguna situación anormal en la operación del banco. Un circuito de monitoreo de fases asegura y previene al operario para no utilizar

el banco en ausencia de una de las fases, así se evita corrientes erróneas en la operación de los motores del banco.



Figura 2.3. Vista general módulo de alimentación.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

2.3.2. Módulo de instrumentos

Permite la lectura de parámetros de operación de la transmisión y del sistema de generación, en él se visualizan los parámetros de velocidad, voltaje y corriente de generación. La ubicación y presentación facilitan su interpretación de forma sencilla.

La Figura 2.4 muestra cómo están dispuestos físicamente los visualizadores de los instrumentos en el banco de pruebas.

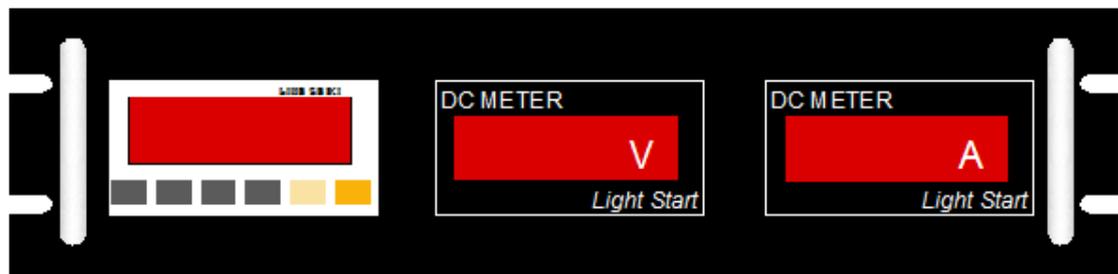


Figura 2.4. Vista general módulo de instrumentos.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

2.3.3. Módulo de osciloscopio

El módulo de osciloscopio tiene como finalidad permitir visualizar los diferentes tipos de señales originadas en el sistema de generación y GCU. Este módulo está constituido simplemente por un osciloscopio marca

Hameg como se puede observar en la Figura 2.5, modelo HM 303-6 con un ancho de banda de 35 MHz, 2 canales, 1 mv 50 V/cm, calibrador 1kHz/1MHz.



Figura 2.5. Vista general módulo de osciloscopio.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

2.3.4. Módulo de control

El sistema de control está formado esencialmente por el OPLC, que es el corazón y cerebro del banco, con un software especializado para la operación sencilla y control de la transmisión, permite activar los circuitos principales de la transmisión, controlar la velocidad, monitorear la operación del mismo y medir sus parámetros entre otros.



Figura 2.6. Vista general módulo de control.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Cuenta con una interface de protocolo RS-232 que permite conectarse con un computador para la transferencia de datos, mantenimiento y reprogramación cuando se requiera. Además cuenta con indicadores de activación para el motor principal, ventilador, sobre velocidad y carga como lo indica la Figura 2.6.

2.3.5. Módulo de GCU

Diseñado especialmente para la integración y pruebas de los generadores de corriente continua y la GCU, permite activar las siguientes funciones durante las pruebas:

- Circuito de generación.
- Control y monitoreo de la señal del campo.
- Control del circuito de contactor de línea.
- Simulación de fallas como corriente reversa y sobre voltaje.
- Situación y control de ecualización.
- Monitoreo de los circuitos internos de las GCU.
- Capacidad de generación GCU interna.

La Figura 2.7, muestra cómo se dispone físicamente el módulo de la GCU con sus respectivos switch y borneras para mediciones de variables.

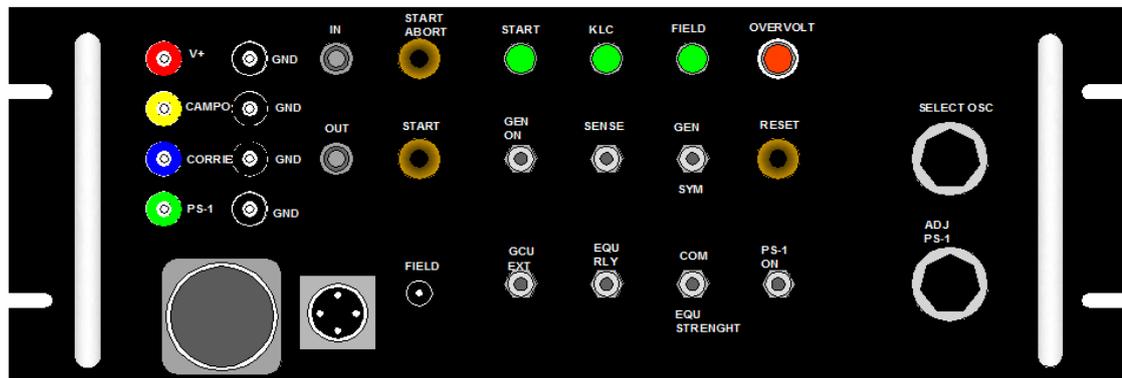


Figura 2.7. Vista general módulo de GCU.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

2.3.6. Mesa

Además de los módulos el banco cuenta con una bandeja que hace las veces de mesa, tiene la apariencia de los otros módulos y se desplaza hacia fuera con ayuda de la manija que posee. Útil para tomar anotaciones, llenar reportes, colocar un computador portátil adquirir información del banco, instalar las GCU durante pruebas de integración dinámica.

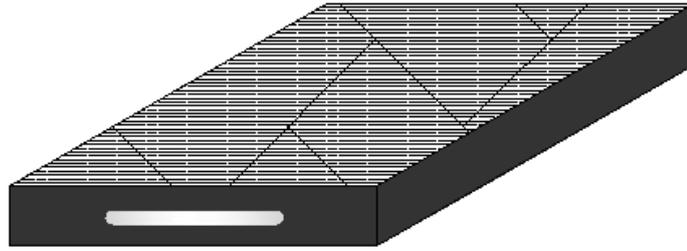


Figura 2.8. Vista general mesa de trabajo.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

2.3.7. Transmisión

La transmisión está compuesta por los siguientes módulos o sistemas:

a. Banco de cargas

Posee una serie de elementos eléctricos necesarios para la activación de cargas, además tiene un sistema de funcionamiento y activación de la ventilación.

b. Compartimiento del sistema eléctrico

Este compartimiento está compuesto por: el switch cambio sentido de dirección, unidad de poder, motor principal y ventilador del sistema de refrigeración forzada.

c. Variador de velocidad

El variador de velocidad está compuesto por un motor de dirección reversible y el sistema de transmisión hacia el variador de velocidad.

La salida del motor principal es llevada a dos correas que se mueven sobre dos pares de poleas de diámetro variable que transmiten movimiento a una caja de engranajes conectada a dos ejes con velocidades de rotación de 6211 y 4917 RPM cada una.

2.4. Descripción módulo banco de pruebas

2.4.1. Diagrama de bloques del banco

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 2.9.

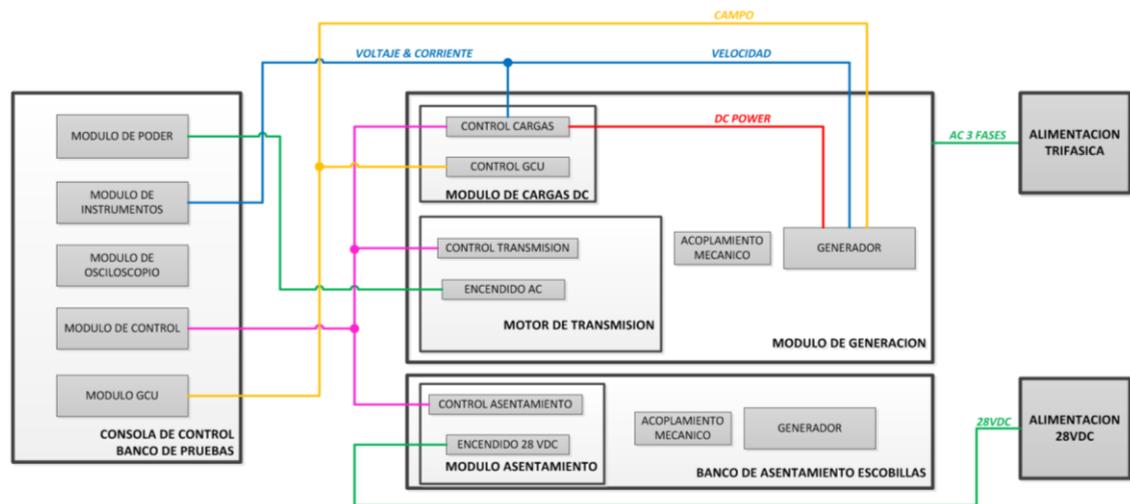


Figura 2.9. Diagrama de bloques del banco de pruebas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

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 eléctrica 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.

2.4.2. Análisis detallado del sistema eléctrico

La potencia eléctrica principal 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 TI 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 TB1, de allí es conmutado por el contactor RLY-101 y accionado en la consola de control por el interruptor de poder SW-101. 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 (RLY-401, 402, 403 y 404), 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. Refiérase al **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

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 relevo RLY-405.

a. Módulo de instrumentos

Formado principalmente por tres instrumentos: tacómetro, voltímetro y amperímetro , toman su alimentación de la regleta TB-1 de la consola de control, bornes 3 y 4 los cuales alimentan un bloque de protección formado por F-201, 202 y 203. La señal del indicador de RPM la toma el pick-up magnético que se encuentra instalado en el eje de salida de la transmisión, en el punto de acople del generador bajo prueba y es enviada a la consola de control para ser amplificada por el amplificador AMP-1 la salida del AMP-1 es llevada al indicador I-201 para su visualización. La señal de voltaje es tomada del módulo de cargas a partir de la barra conectada del punto B del generador (+B). La señal de corriente es tomada por una resistencia SHUNT de 50mv a 600 amperios. Refiérase al **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

b. Módulo de osciloscopio

Consta con un osciloscopio análogo I-301 marca Hameg HM 303-6 de 35MHz, dos canales 1mv 50V/cm, calibrador 1kHz/1MHz, sincronismo DC-100MHz. Que tiene el propósito de monitorear el voltaje de control de campo para efectuar análisis en los circuitos de control, regulación de las GCU, el canal 2 (J-302) está conectado a TB-1 para monitorear algunos parámetros específicos de la GCU. Refiérase al **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

c. Módulo OPLC

Formado esencialmente por el OPLC con un software especialmente diseñado para la operación y control de la transmisión y del módulo de asentamiento de escobillas; permite iniciar los circuitos principales de la transmisión, controlar la velocidad, monitorear la operación del mismo, medir sus parámetros entre otros, accionar los contactores para él asentamiento de escobillas. Cuenta con una interface de protocolo RS-232, a través de J-402 para conectarse con un computador para transferencia de datos, mantenimiento y reprogramación cuando se requiera. Posee cuatro lámparas de monitoreo de los siguientes sistemas: Motor principal L-401 MAIN,

Ventilador de enfriamiento L-402 COOL FAN, Sobre velocidad L-403 OVER SPEED.

El módulo del OPLC está conformado también de relevos auxiliares, para el manejo de la corriente de salida del OPLC, designados desde RLY-401 hasta RLY-413 los cuales van a controlar los diferentes sistemas del banco. Refiérase al **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

d. Módulo de GCU.

Contiene una unidad de control de generación (GCU) interna que se puede seleccionar a través de un interruptor GCU INT/GCU EXT SW-504. Este interruptor acciona los relevos K-502, K-503 y K-504. Los cuales conmutan las señales de la GCU interna y la GCU externa. El módulo también contiene un circuito de prueba de arranque constituido por el relevo K-501, Los interruptores de start, start abort y la lámpara start L-501. Al pulsar switch start (SW-508) se suministra un voltaje de 24 Vdc en el pin G del conector J1, el cual se conecta al pin k de la GCU externa y a través de un circuito interno se obtiene una retroalimentación por el pin G de la GCU externa que se conecta al módulo GCU por el conector J1 el pin H. Por este pin se energiza el relevo K-501 que ilumina la lámpara L-501, se auto enclava a través de un contacto del mismo. Para desenergizar el relevo k puede presentarse de dos formas: Al pulsar el switch start abort (SW-510) o realizar la prueba de start a la GCU externa.

La otra acción del interruptor start es enviar 24 Vdc al pin E del conector J2, usado para excitar la GCU externa. El interruptor de reset SW-509 coloca un voltaje de 24 Vdc al pin F de J1 y pin M de la GCU interna. Este voltaje realiza un reset en los circuitos internos de la GCU externa y la GCU interna, el pin E de los conectores J-502 y J-503 introducen una señal simulada de RPM por pin conector J1, proveniente del N de la GCU externa. La línea campo está protegida por el circuit breaker CB-501 el cual se activara de I de la llega a cuando se exceda la Corriente nominal de 7.5 amperios. A través del conector J-501 pin w y cuando hay presencia del voltaje se ilumina la ampara de campo L-503, esta señal llega al relevo K-503 y si está en posición GCU INT lleva la señal al pin A de la GCU interna, si se selecciona GCU EXT,

la señal es dirigida del relevo K-503 al pin R del conector J1. La señal positiva que proviene del punto B del generador llega a través del conector J- 501 por el pin F y es dirigida a los interruptores GEN ON (SW-501) y SENSE (SW-502), estos interruptores son los encargados de conectar el voltaje de generación positivo a la GCU interna y a las GCU externas. El interruptor GEN ON dirige el voltaje al pin B de la GCU interna o si está seleccionada la externa dirige el GCU voltaje de generación a los pines N de J1 y K de J2. El interruptor SENSE es el encargado de conectar el voltaje de generación a los pines F en la interna el pin GCU y P en el conector J1. Refiérase al **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

2.5. Programación del OPLC

El OPLC Vision 280V de Unitronics para su programación requiere del Software VisiLogic 9.7.9, el mismo que permite realizar el algoritmo de control y la vinculación de las variables del proceso, visualizarlas en un HMI e interactuar desde una pantalla táctil.

En la Figura 2.10 se observa la pantalla de programación distribuida en cuatro conjuntos de herramientas de programación.

El primer bloque enmarcado con color rojo (1) permite seleccionar los diversos instrumentos para realizar la estructura del programa en *Ladder*, en la sección (2) enmarcada de color verde se encuentra la barra de herramientas del software. La sección enmarcada con color azul (3) es el navegador de proyecto. La pantalla del centro encuadrada de amarillo es conocida como Windows Makers, en la cual, se estructura el programa mediante bloques de funciones.

Al ejecutar el programa del OPLC debe cumplir con varios requerimientos de diseño como: fácil de operar, seguridad personal e industrial, trabajar en tiempo real y control de acceso.

Para dar cumplimiento a todos los parámetros necesarios del banco de pruebas de generadores arrancadores, el algoritmo de control se divide en varias subrutinas, que interactúan entre sí, con la finalidad de obtener un programa compacto, entendible y fácil de manipular para los operarios.

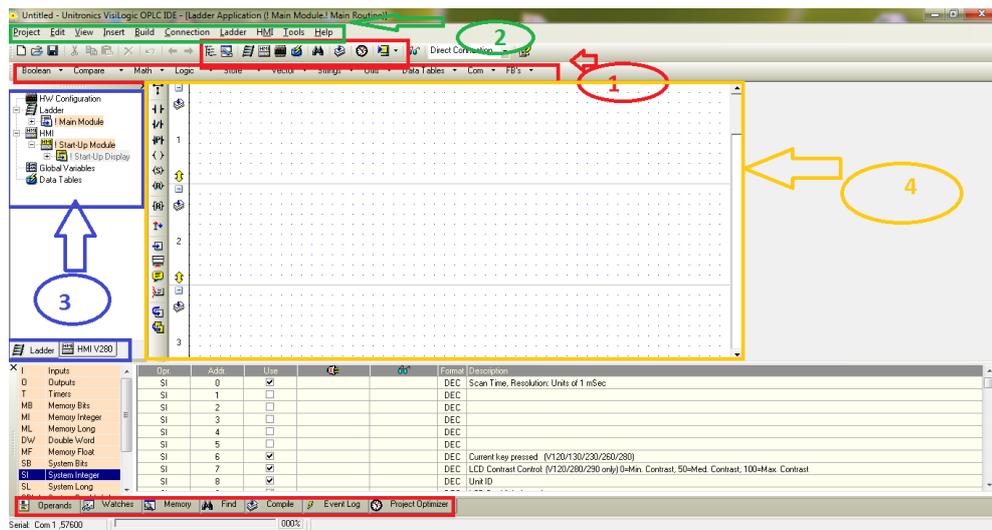


Figura 2.10. Ventana de programación VisiLogic.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

2.5.1. Configuración de hardware del OPLC

Antes de realizar la programación del algoritmo de control del OPLC, se especifica: el tipo, la dirección, y operación (I/O), para eso se utiliza el HWConfiguration que permite definir el tipo de controlador, el tipo de entradas y salidas a utilizar. En la Figura 2.11 se observa la ventana de configuración de hardware del OPLC, seleccionado el controlador V200-18-1B.

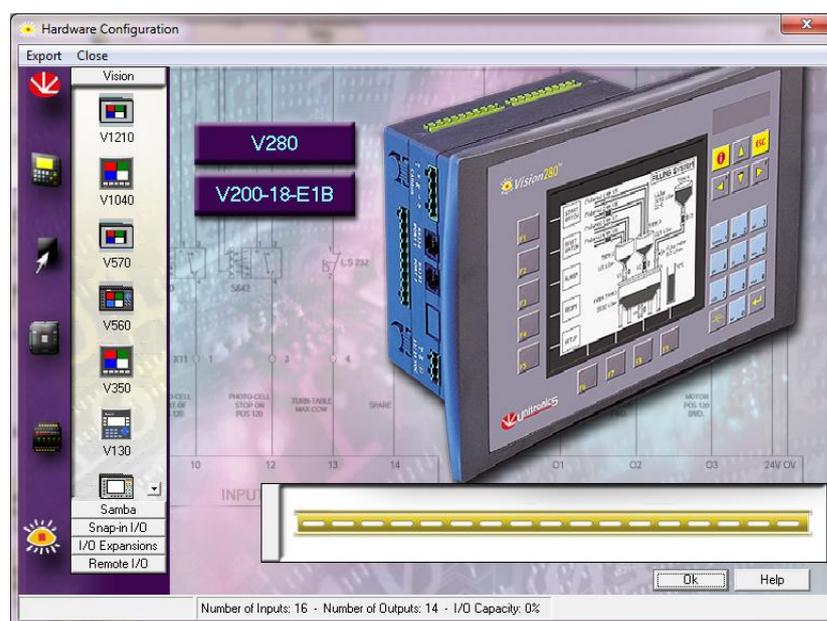
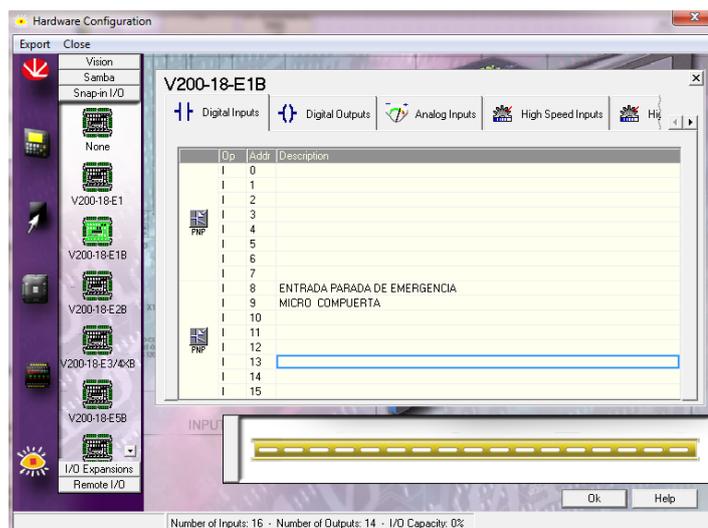


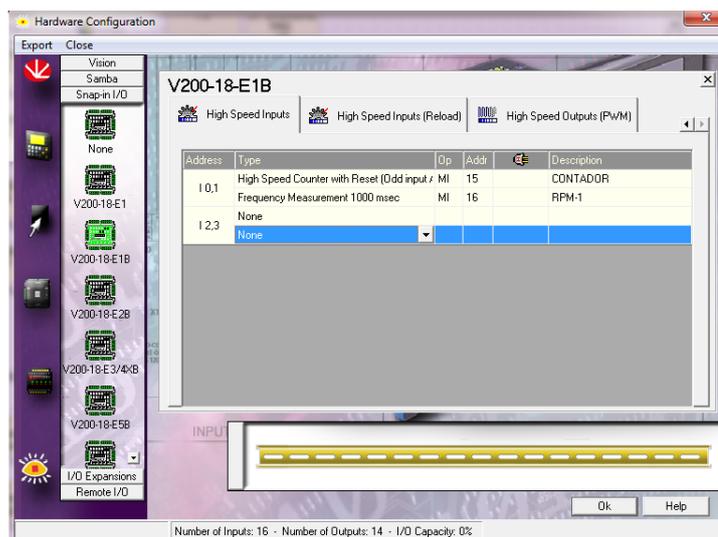
Figura 2.11. Ventana de configuración de hardware del OPLC.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Para el programa del banco de pruebas se utiliza dos entradas digitales de transistor PNP, la configuración de estas se observa en la Figura 2.12 (a) una entrada de conmutación de alta velocidad para determinar la velocidad del motor de transmisión, es una entrada que utiliza dos espacios de memoria como se observa en la Figura 2.12 (b).



(a)



(b)

Figura 2.12. Configuración de entradas.

a) Tipo PNP, b) Conmutación de alta velocidad.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Se definen catorce salidas digitales para la operación del banco de pruebas, ocho salidas para la activación de las cargas para que el generador arrancador suministre de 10 a 400 amperios, dispuestas en:

- Dos salidas de 10 A.
- Dos salidas de 20 A.
- Una salida de 40 A.
- Tres de 100 A.

Se activa mediante salidas independientes el motor de transmisión, el contactor de asentamiento de escobillas, la ventilación, una salida de bloqueo para cuando exista sobre velocidad, una salida para incrementar y otra para decrementar la velocidad del motor de transmisión. La configuración se puede observar en la Figura 2.13.

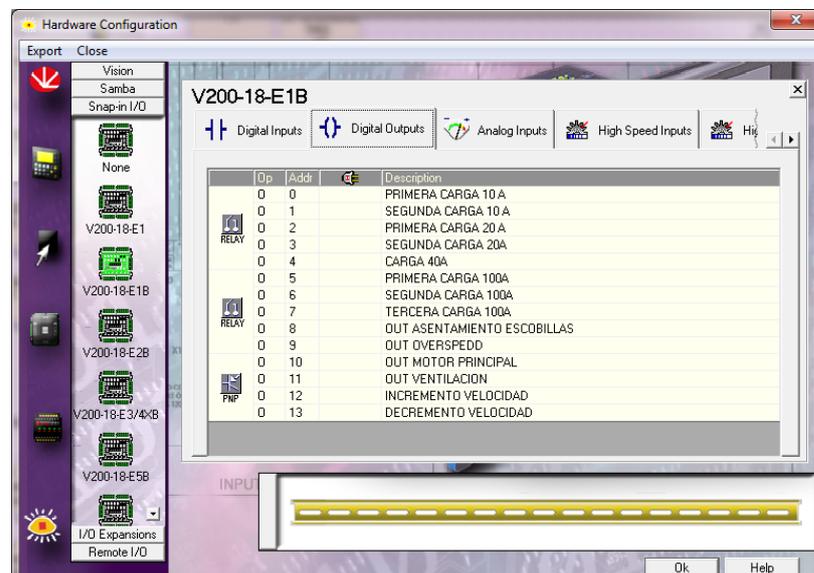


Figura 2.13. Configuración salida OPLC.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

2.5.2. Programación en Ladder del OPLC

El programa del OPLC se estructura como muestra el diagrama de flujo en la Figura 2.14

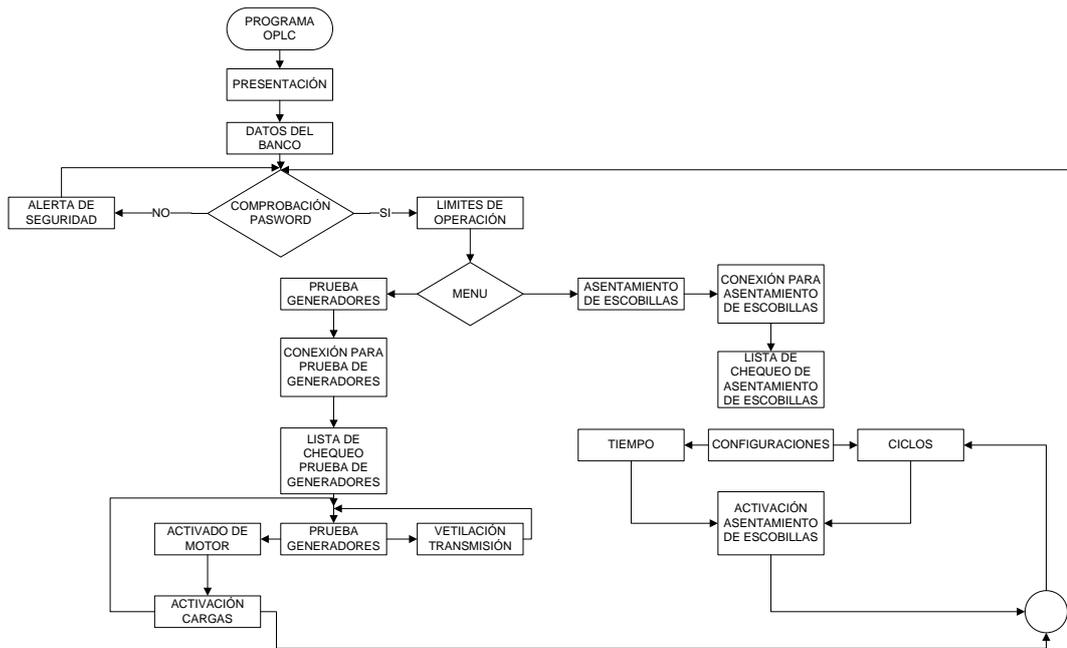


Figura 2.14. Diagrama de flujo programa OPLC.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

El programa del OPLC se divide en cinco secciones definidas como: Main Routine, Basic, Main, Main-1 y Main-2, las mismas que contienen subrutinas que permiten operar el banco de pruebas. En la Figura 2.15 se observa las secciones del programa en Ladder.

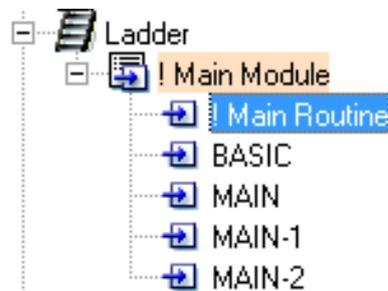


Figura 2.15. Secciones del programa en Ladder del OPLC.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

a. Sección Main Routine

Esta sección del programa del OPLC define el periodo de funcionamiento del banco de pruebas hasta un próximo mantenimiento, de manera que los técnicos tengan conocimiento y realicen los trabajos necesarios como: Cambio de aceite, Inspección visual de bandas y poleas en el motor de transmisión, Limpieza y chequeo en el banco de cargas, Inspección de

lámparas indicadoras en el módulo de control. En la Figura 2.16 se indica esta subrutina.

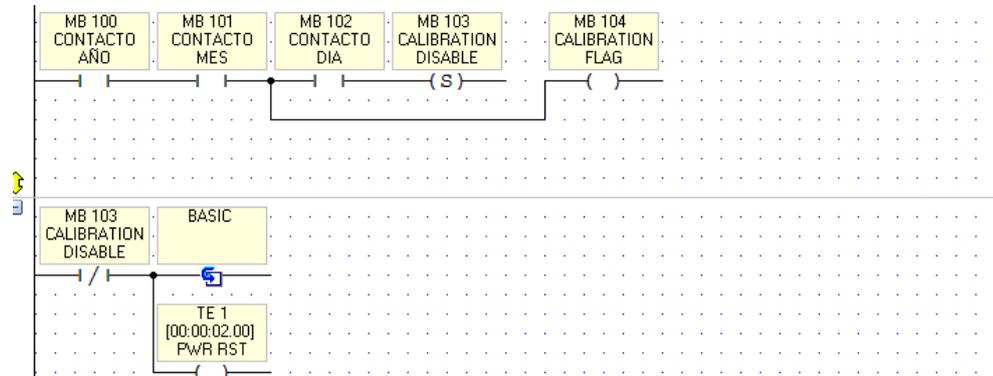


Figura 2.16. Subrutina periodo de mantenimiento.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

b. Sección Basic

En esta sección se encuentran las subrutinas de paso de pantalla, movimiento de pantallas, el scroll de los nombres de los usuarios, habilitación del password y la subrutina de la comprobación del password.

Subrutina paso de pantalla

Esta subrutina permite asignar contactos de memoria interna del OPLC a tags e interactuar con el HMI, para realizar el cambio de pantallas. Esta subrutina se indica en la Figura 2.17.

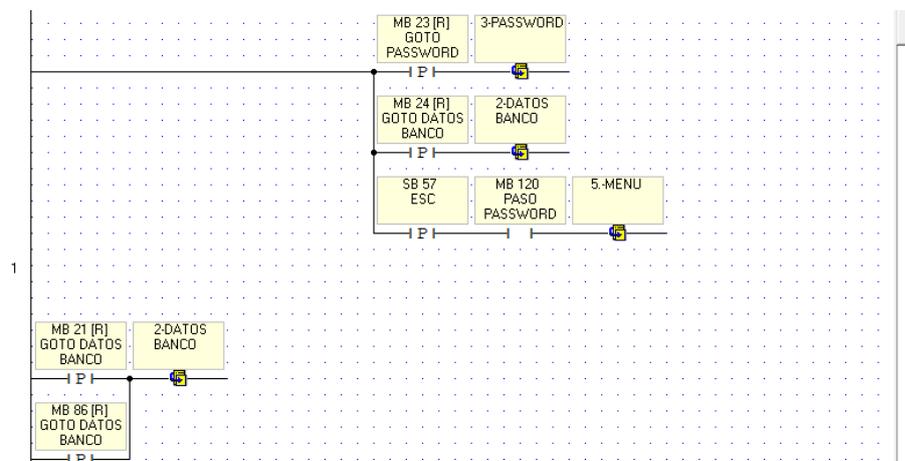


Figura 2.17. Subrutina paso de pantalla.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina movimiento de pantalla

Al igual que la subrutina paso de pantalla, permite la asignación de contactos de memorias internas e interactuar con el HMI, la diferencia radica en que el cambio de pantallas debe cumplir con ciertas condiciones. Esto se puede observar claramente en la Figura 2.18.

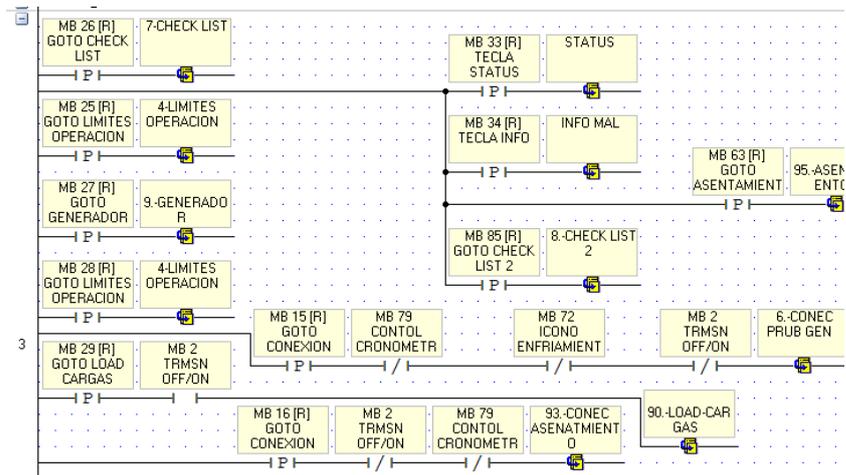


Figura 2.18. Subrutina movimiento de pantalla.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina scroll name UP/Down

El cambio de nombre en la lista usuarios se maneja por los botones UP y DOWN de los cursores del teclado alfanumérico del OPLC, de esta manera se puede seleccionar el nombre del operador, con el uso de memorias internas asignadas a las teclas. Esta subrutina de observa en la Figura 2.19.

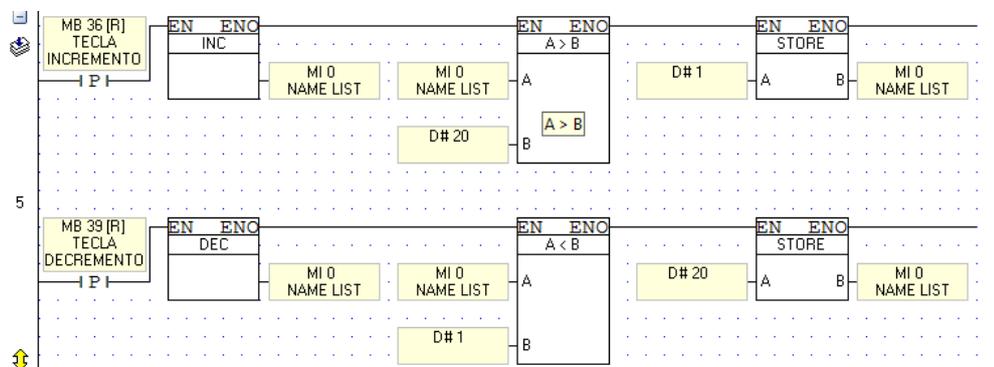


Figura 2.19. Subrutina scroll name Up/Down.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina habilitación password

Esta subrutina permite comparar una cadena de caracteres ingresados desde el teclado alfanumérico con una clave. Se asigna un contacto de memoria interna para la habilitación, de esta forma permite o rechaza el acceso a ejecutar las tareas en el banco de pruebas de generadores arrancadores. La Figura 2.20 muestra cómo está diseñado el programa ejecutar esta acción.

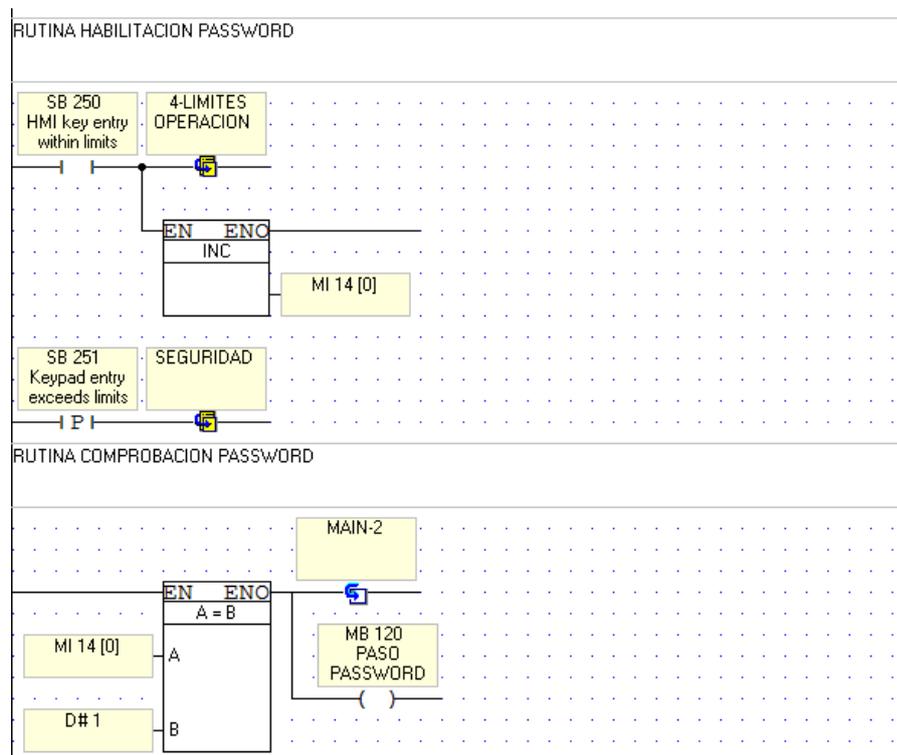


Figura 2.20. Habilitación del password.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

c. Sección Main.

Se definen las subrutinas para la entrada de la señal de RPM, incremento/decremento de velocidad, la rutina de activación del motor principal, el control del ventilador del motor principal, la habilitación del contactor para asentamiento de escobillas, la habilitación de cargas y la activación del ventilador de cargas.

Subrutina motor principal

Para accionar el motor de transmisión y ponerlo en marcha se asigna una salida del OPLC y una memoria interna vinculada con una tag del HMI. La subrutina se puede visualizar en la Figura 2.21.

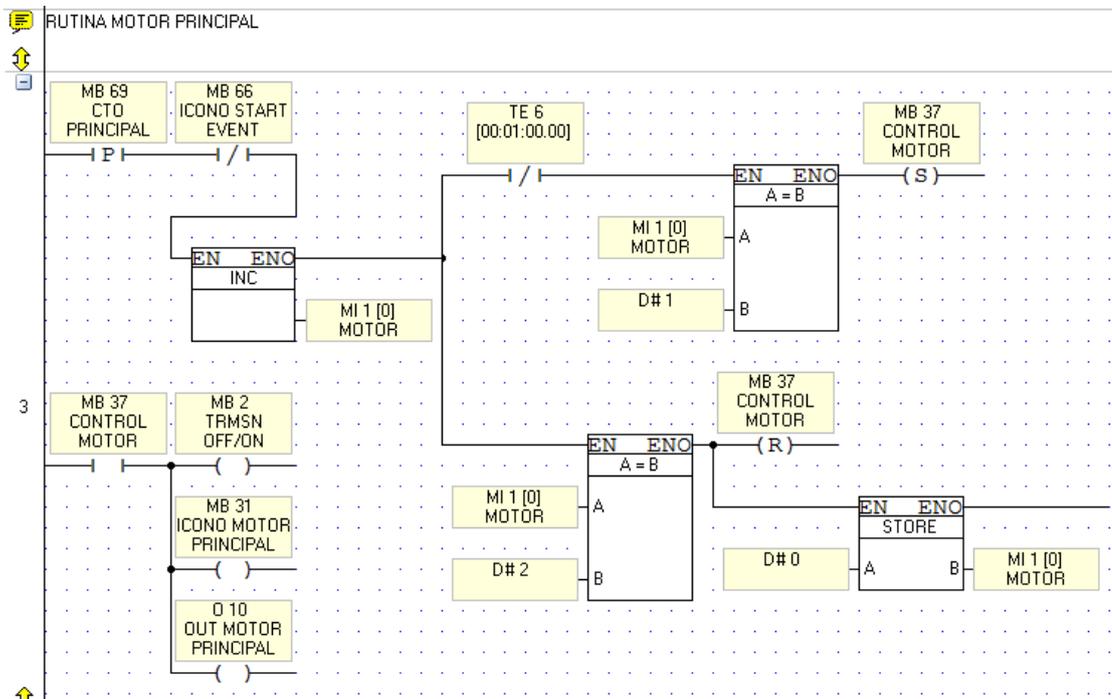


Figura 2.21. Rutina motor principal.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina señal RPM

La lectura de la señal del sensor Pick-Up se realiza con el objetivo de limitar velocidades estipuladas por el fabricante para el generador arrancador, se lee y compara la velocidad máxima definida con la entrada del Pick-up, y su salida se designa a una bobina. Como se observa en la Figura 2.22.

Además, se multiplica por un valor constante de 60 para transformar la frecuencia de los pulsos en Hertz a revoluciones por minuto, que luego es comparado para limitar el funcionamiento del motor principal.

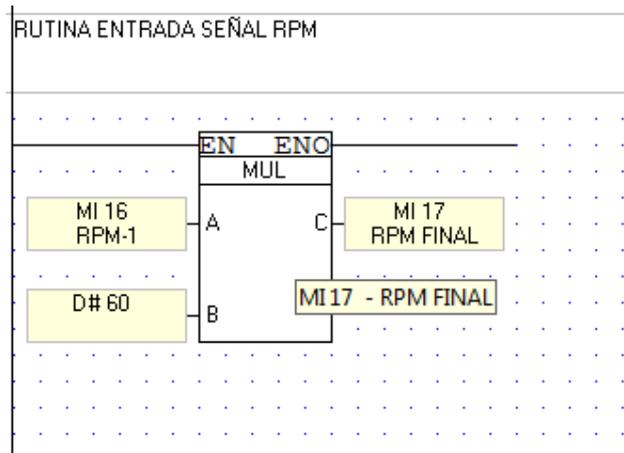


Figura 2.22. Rutina señal RPM.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina incremento/decremento velocidad

La subrutina permite incrementar o decrementar la velocidad del motor de transmisión, con lo que se logra simular estas acciones de la aeronave, mediante los cursores del teclado alfanumérico. En la Figura 2.23 se muestra como está configurado el programa en Ladder.

El motor de transmisión arranca con una velocidad inicial de 3000 RPM.

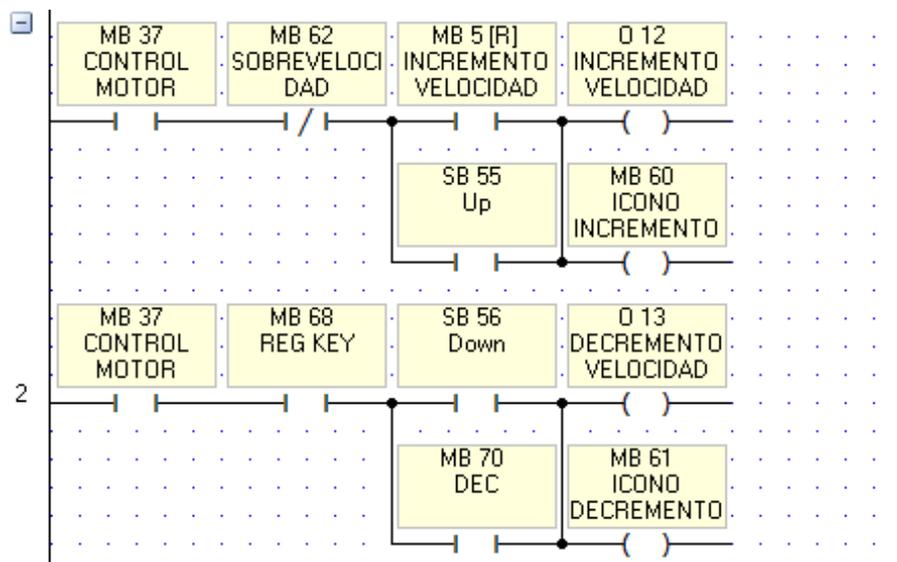


Figura 2.23. Rutina incremento/decremento de velocidad.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina control ventilación generador

Es necesaria la activación del ventilador para el generador, al estar en funcionamiento por un tiempo prolongado se incrementa la temperatura en el rotor y la armadura, que podría producir daños en los devanados. Por ende se designa una salida del OPLC que activa al ventilador. Esta subrutina se muestra en la Figura 2.24.

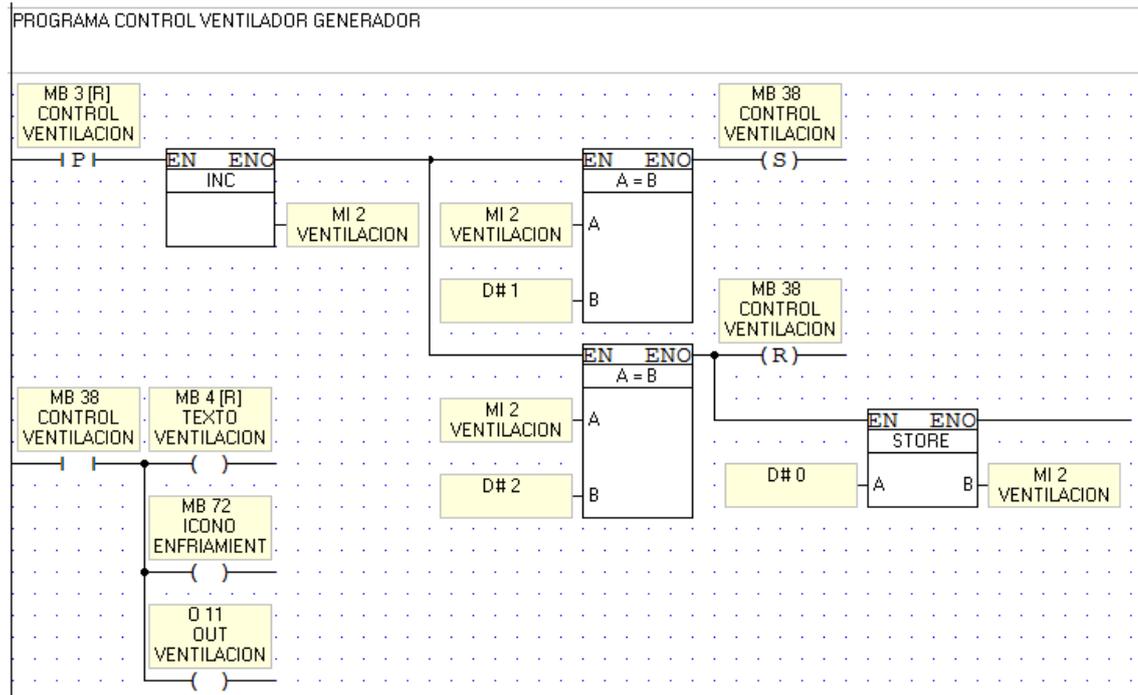


Figura 2.24. Subrutina control de ventilación.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina cargas

El generador arrancador suministra corrientes entre 10 a 400 Amperios, se habilita cargas de resistencias térmicas distribuidas en: dos de 10 A, dos de 20 A, una de 40 A y tres de 100 A, de esta manera se consigue hasta 400 A en intervalos de 10. Todas las activaciones de cargas tienen la misma lógica de programación.

En la Figura 2.25 se muestra la estructura en Ladder para la activación de carga de 10 Amperios.

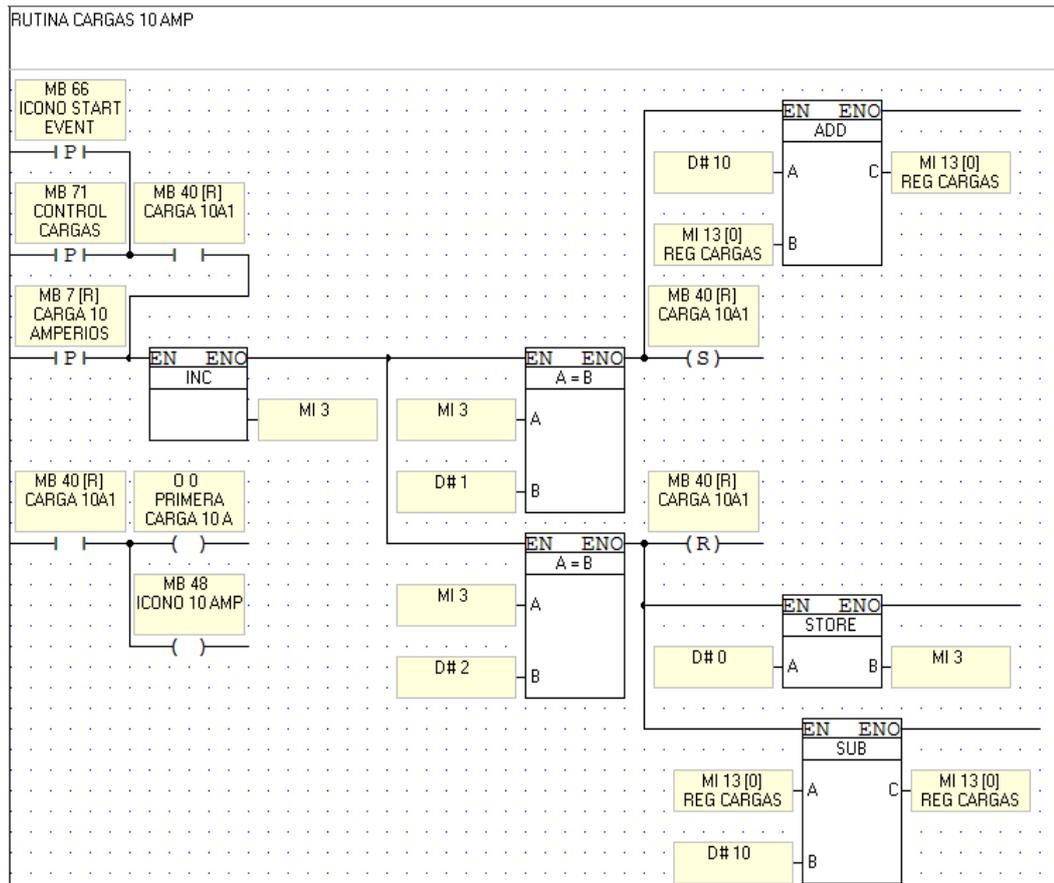


Figura 2.25. Subrutina carga 10 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina sobre velocidad

Mediante software se limita la velocidad de operación del motor de transmisión, con la finalidad que opere dentro de los rangos nominales del generador arrancador.

Esto se logra al comparar la velocidad del motor de transmisión con el valor máximo de revoluciones que soporta el generador.

La velocidad del motor de transmisión se mide mediante una entrada de alta velocidad de conmutación, con la ayuda de un bloque de comparación se identifica si velocidad se encuentra dentro de los parámetros de operación. La Figura 2.26 indica la programación en Ladder.

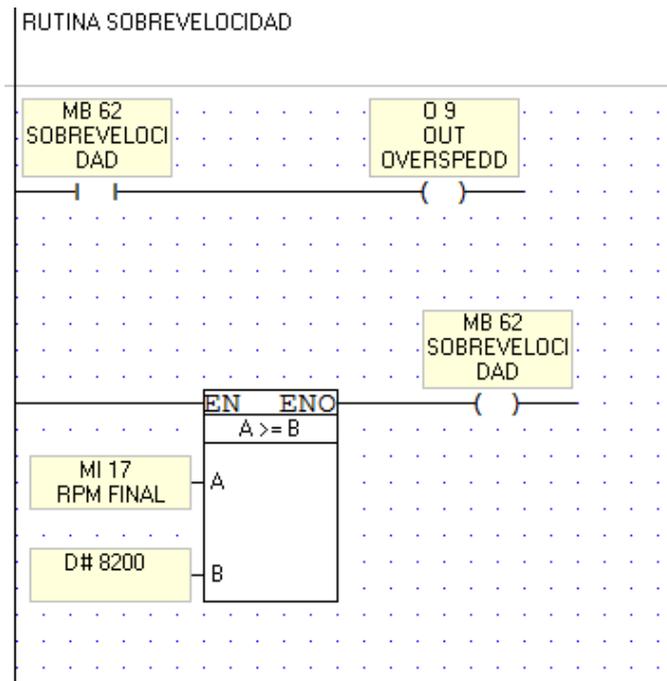


Figura 2.26. Subrutina de sobre velocidad.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

d. Sección Main-1

En esta sección del programa se encuentra las subrutinas Paro de Emergencia, Parada Automática, Tiempo de espera luego de apagado motor principal, Contador Total, Compuerta inversión de giro y Rutina Asentamiento de escobillas.

Subrutina parada de emergencia

En todo sistema de control industrial es necesaria una parada de emergencia, que permita suspender el proceso al ocurrir alguna anomalía en el banco de pruebas del generador durante su funcionamiento.

Esta subrutina desactiva el motor de transmisión y la ventilación, desacopla las cargas y corta el suministro de corriente continua en el asentamiento de escobillas.

En la Figura 2.27 se observa la programación en Ladder de esta subrutina, que permite suspender la operación de todo el banco de pruebas en general, así como la prueba de generación y asentamiento de escobillas.

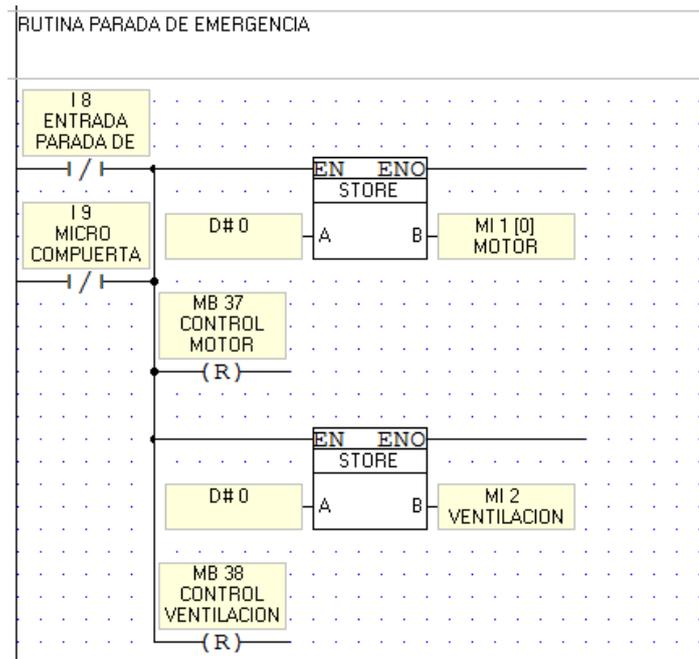


Figura 2.27. Subrutina paro de emergencia.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina tiempo después de apagado motor principal

Luego de desactivar el motor principal el eje sigue en movimiento debido a la inercia, por lo cual, se provee de un tiempo de espera mediante un temporizador, hasta que el motor se encuentra detenido completamente. En la Figura 2.28 se muestra la estructura del programa en Ladder.

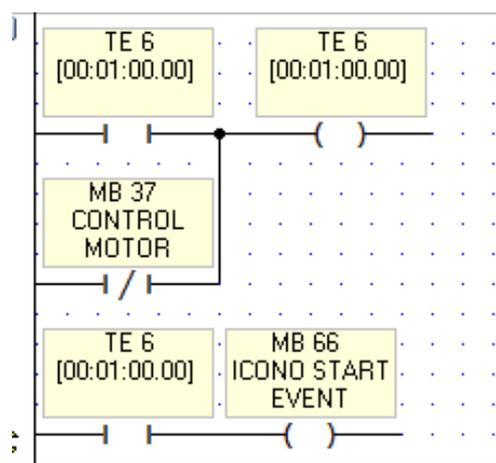


Figura 2.28. Subrutina tiempo de espera.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina parada automática

Esta subrutina permite apagar el motor de transmisión cuando opera a velocidades elevadas. Se disminuye la velocidad del motor mediante un lazo de control. En la Figura 2.29 se observa la programación en Ladder.

La parada automática es necesario para preservar los elementos del motor principal, puesto que si se apaga el motor a velocidades elevadas pueden romperse las bandas y dañarse los resortes de los ejes. El motor principal puede ser apagado sin ningún inconveniente cuando la velocidad es inferior a las 3200 RPM.

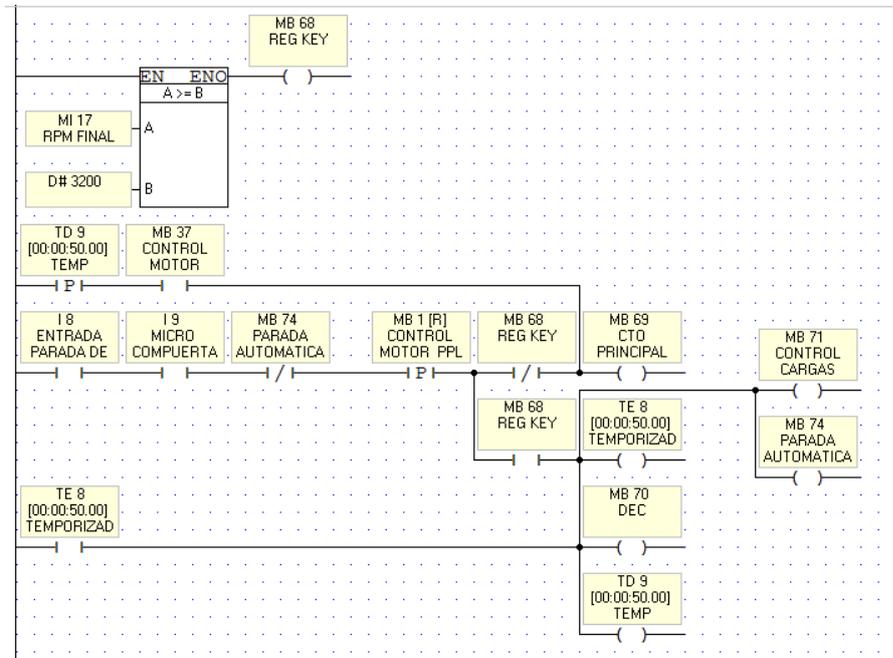


Figura 2.29. Subrutina parada automática.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina contador total

Es necesario llevar un registro de las horas de funcionamiento. Esta subrutina cuenta el tiempo de funcionamiento del banco de pruebas, se realiza mediante contadores, que registran los pulsos generados por un circuito oscilatorio, conformado por un temporizador de retardo al encendido, en serie a un contacto normalmente cerrado del mismo, con lo que se genera un tren

de impulsos, luego, los pulsos son registrados como segundos, minutos y horas. En la Figura 2.30 se muestra la estructura en Ladder.

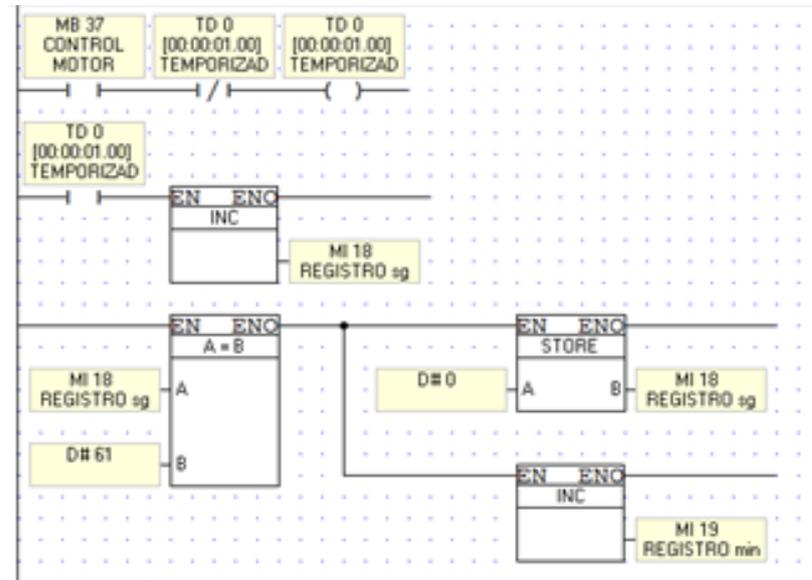


Figura 2.30. Subrutina contador total.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina compuerta open

Esta subrutina brinda mayor seguridad a los operarios del banco de pruebas, verifica que se encuentre cerrada la compuerta de acceso a las conexiones de alta tensión.

Al utilizar un micro-switch o final de carrera se puede detectar fácilmente si la compuerta está abierta o cerrada, este sensor es considerado como una entrada del OPLC, que permite por medio de software deshabilitar el acceso de los usuarios a la ejecución de las pruebas. La subrutina se indica en la Figura 2.31.

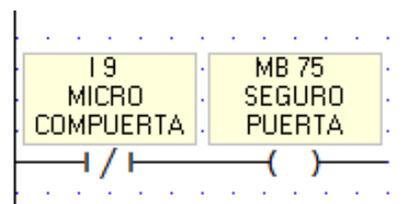


Figura 2.31. Subrutina compuerta open.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Subrutina asentamiento de escobillas

El asentamiento de escobillas es un trabajo que se realiza luego del cambio de los carbones del generador, su finalidad es acoplar correctamente los terminales del rotor con la armadura del generador arrancado, para lo cual, se activa el generador por un periodo de cinco horas en lapsos de cincuenta minutos.

El programa permite seleccionar tiempos de activación del generador de 5 a 65 minutos mediante una salida del OPLC. Se puede observar esta configuración en la Figura 2.32.

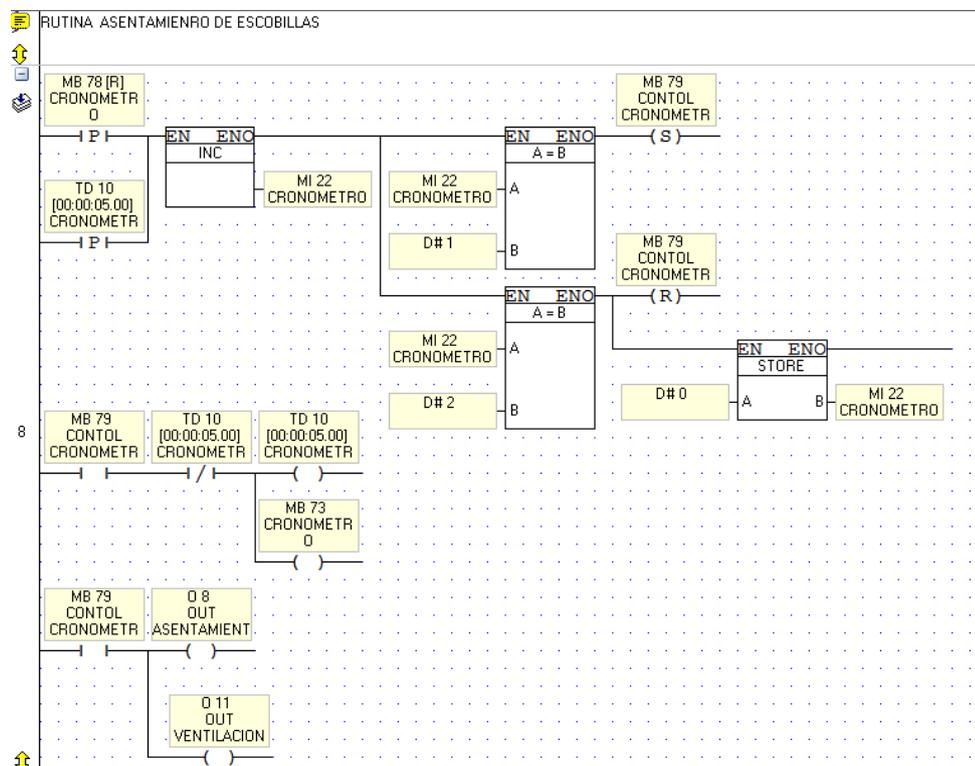


Figura 2.32. Subrutina asentamiento de escobillas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

e. Sección Main-2

Esta sección del programa permite verificar las listas de chequeo de las operaciones del banco de pruebas, y compara que todo esté en orden, dar paso a las acciones de cada operación, tanto, para la prueba de generadores como el asentamiento de escobillas.

El programa utiliza variables asignadas a iconos en el HMI, que a su vez se vinculan con memorias internas, que permite generar estructuras en Ladder. Se compara que todos los ítems de la lista de chequeo estén enmarcados, para continuar con la operación del banco de pruebas.

En la Figura 2.33 y Figura 2.34 se muestra como se realiza verificación de un ítem de las listas de chequeo.

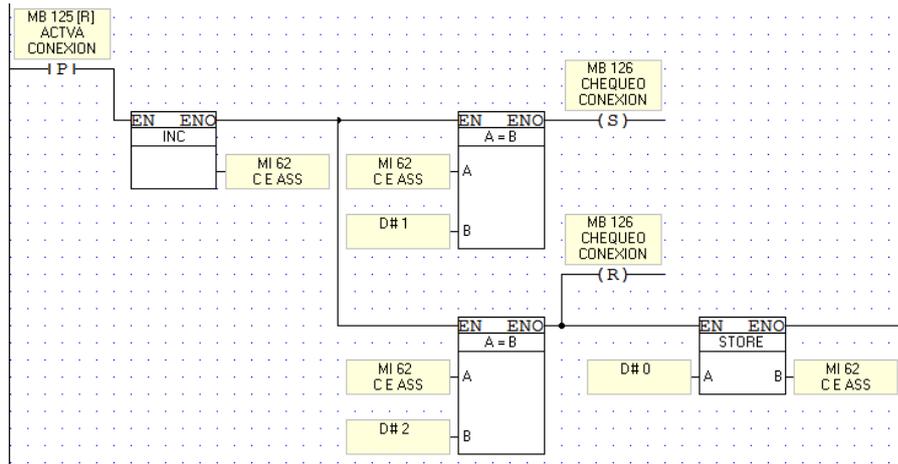


Figura 2.33. Activación ítem lista de chequeo.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

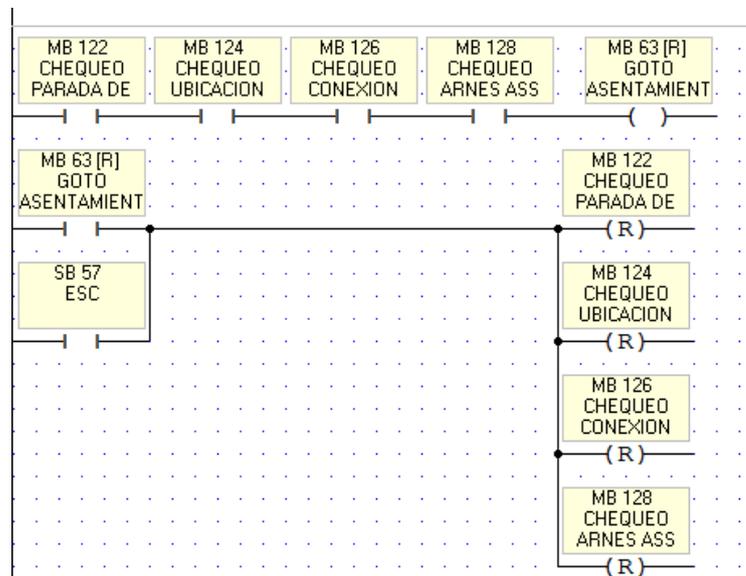


Figura 2.34. Comprobación paso lista de chequeo.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

2.5.3. Descripción HMI

a. Pantalla de inicio

La pantalla de inicio da la bienvenida al usuario, es la primera página que aparece tan pronto inicia el sistema, contiene información de día, mes y año en la esquina inferior izquierda, en la esquina inferior derecha se muestra la hora, minutos y segundos, basado en reloj interno del OPLC; tal como lo muestra la Figura 2.35.

Presenta el logotipo de la Universidad de las Fuerzas Armadas y la Fuerza Aérea Ecuatoriana, también el nombre y el número de parte del banco. Al pulsar el ícono con la flecha hacia adelante, cualquiera de los dos logotipos o la palabra continuar se accede a la pantalla siguiente.

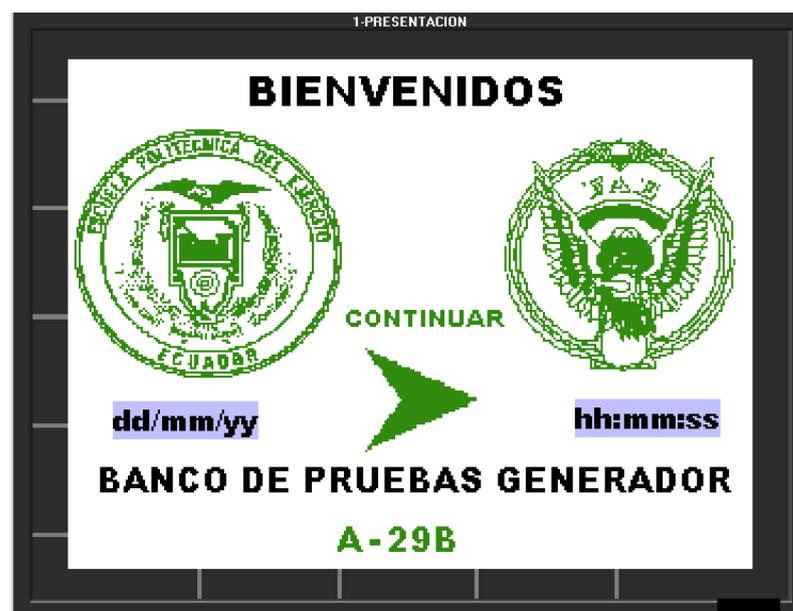


Figura 2.35. Pantalla de bienvenida.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

b. Pantalla de datos del equipo

Presenta los datos básicos del banco como son: modelo, número de parte, número de serie, aplicabilidad, versión del software, tiempo de operación de la transmisión y el nombre de los diseñadores. La Figura 2.36 muestra claramente los datos de placa del equipo.

El icono de la flecha hacia adelante ubicada en la parte superior de la pantalla, permite avanzar a la siguiente página del programa.

DATOS DE PLACA DEL EQUIPO	
MODELO	ESPEL-001AV
NUMERO PARTE	001-AV
NUMERO SERIE	001-ESPEL
APLICABILIDAD	A-29B
SOFTWARE P/N	AV-001-00001
DISEÑADORES Y CONSTRUCTORES	Ing. A. ESCOBAR Ing. V. BASSANTE
HORAS TOTALES	99999 -99 -99
	HORAS MIN SEG

Figura 2.36. Pantalla de datos del equipo.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

c. *Pantalla de contraseña*

La importancia de esta pantalla es fundamental para evitar el mal uso del banco de pruebas.

Mediante las flechas ubicadas en la parte central de la pantalla se puede seleccionar el nombre del operario, mediante el teclado alfanumérico se introduce la clave de acceso para continuar con la operación del banco, y de esta manera evitar el ingreso de personal no autorizado y sin capacitación al sistema.

Si por algún motivo, el código de acceso es errado se activa la pantalla de seguridad, ver Figura 2.49 que permite retornar a la página de password al pulsar el icono de alto representado por una mano.

El icono de la flecha hacia atrás en la parte superior de la pantalla permite retroceder a la página anterior del programa. Al ingresar el password correcto se accede a la página siguiente automáticamente.

Al igual que las anteriores pantallas posee información del día, mes y en la parte inferior izquierda de la ventana y en la parte inferior derecha se encuentra la hora, minutos y segundos como se visualiza en Figura 2.37.

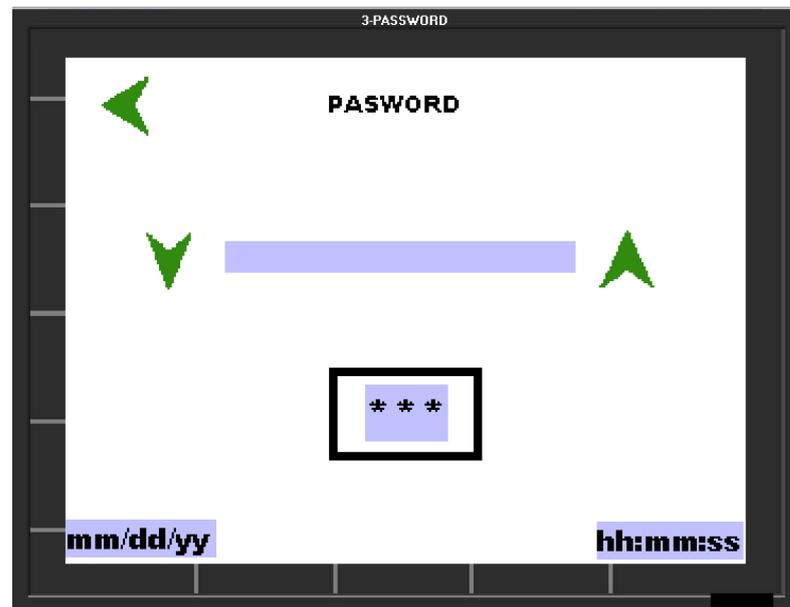


Figura 2.37. Pantalla de contraseña.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

d. Pantalla límites de operación

En la Figura 2.38. se describe los límites de operación en los que funciona adecuadamente el banco de pruebas de generadores arrancadores como:

- Voltaje.
- Corriente.
- Revoluciones mínimas y máximas.
- Carga que soporta.
- Potencia consumida.

Con el icono de la fecha hacia adelante en la parte superior de la pantalla se avanza a la página contigua del programa.

Además posee datos de fecha con formato mes/día/año y hora expresadas en horas/minutos/segundos en la misma posición de las pantallas anteriores.

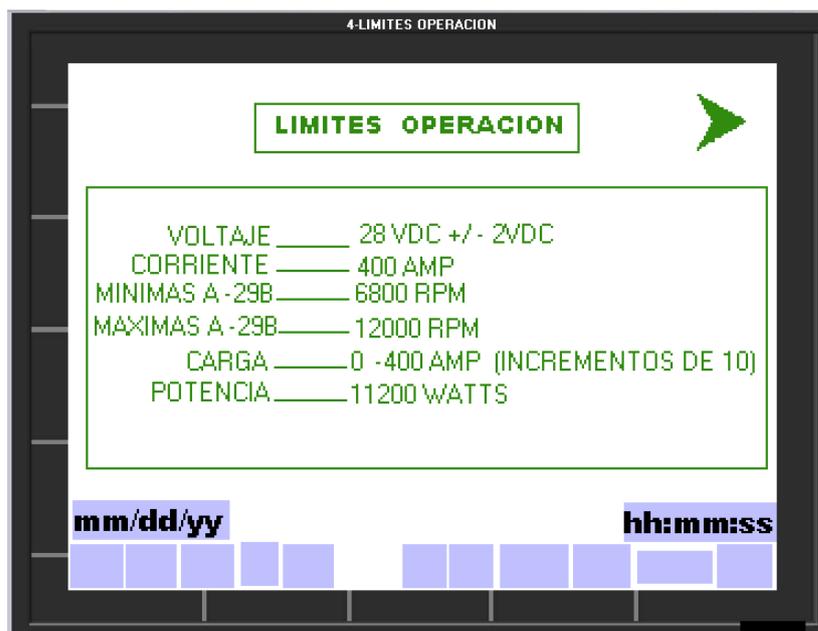


Figura 2.38. Pantalla límites de operación.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

e. Pantalla selección modo de operación

El banco puede trabajar de dos modos: prueba de generadores o para realizar el asentamiento de escobillas.

La Figura 2.39 muestra las opciones para ingresar a un proceso, basta con presionar en el icono que se desee y este cambia la pantalla para a empezar la prueba.

Si no desea ejecutar una prueba, al presionar la tecla escape se redireccionará a esta página. Además, si un proceso está en marcha no se habilitará el otro, con lo que se logra limitar la operación de un proceso al mismo tiempo.

Al seleccionar la prueba del generador se muestra la pantalla conexión eléctrica generador como lo ilustra la Figura 2.40, al elegir la opción asentamiento de escobillas se presenta la pantalla conexión eléctrica asentamiento de escobillas que se indica en la Figura 2.45.

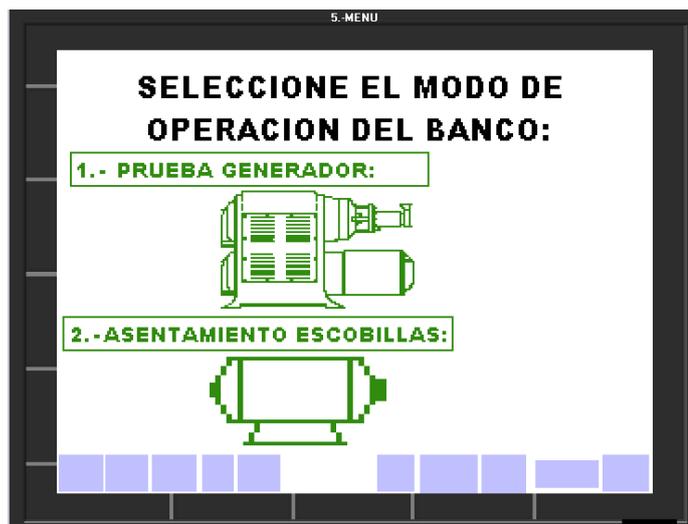


Figura 2.39. Pantalla selección modo de operación.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

f. Prueba generador

Pantalla conexión eléctrica generador

Se presenta el diagrama eléctrico del generador, con la finalidad que el operario verifique las conexiones para la puesta en marcha de la prueba, la Figura 2.40 muestra las líneas de conexión entre el tablero y el generador, se debe recalcar que los terminales deben estar asegurados para su operación.

La Tabla 2.2 señala la nomenclatura del tablero de conexión del banco con el generador. En donde se indica el voltaje de campo (A+), el terminal de salida positivo (B+), el terminal de salida negativo o tierra (E-) y el terminal de conexión a interpole (D).

Tabla 2.2 Simbología y significado de terminales.

SIMBOLO	SIGNIFICADO
A+	CAMPO
B+	TERMINAL POSITIVO
E-	TERMINAL NEGATIVO
D	INTERPOLO

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

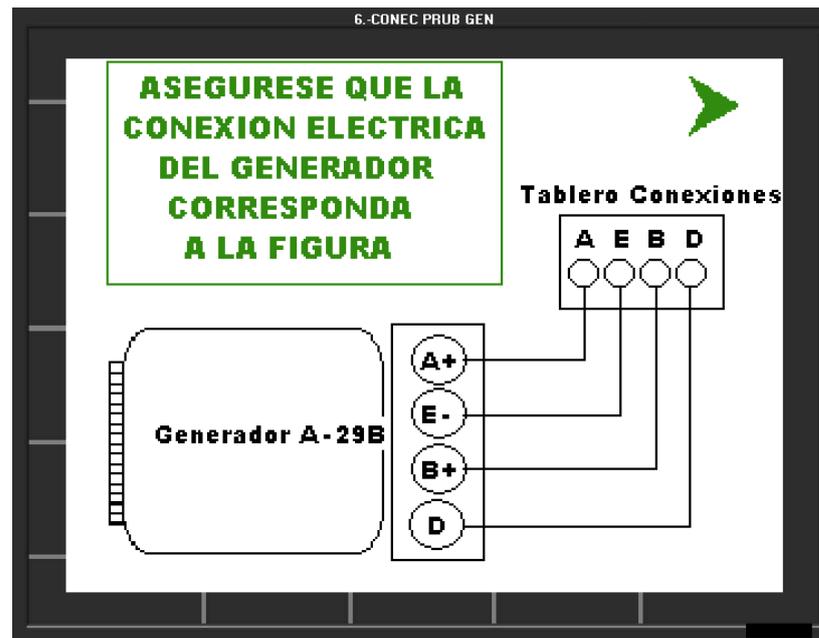


Figura 2.40. Pantalla conexión eléctrica del generador.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Pantalla lista de chequeo

Es la pantalla principal antes de proceder a operar la transmisión. Su aplicación es mandataria siempre que se instale un generador de esta forma se evita problemas o accidentes.

En la parte inferior de la pantalla aparecerá la barra de tareas, la cual notifica el estado de operación del banco en todo momento, estos iconos estarán a la vista del operario cuando el correspondiente sistema se active.

El operario debe comprobar que cada ítem esté activado en modo (OK), una vez que los cuatro ítems de la Figura 2.41 estén verificados. La siguiente página se presenta automáticamente como se indica en la Figura 2.42, en dicha pantalla en la misma se realiza un proceso similar al anterior, es decir, deben estar en modo (OK) todos los ítems.

De esta manera se tome todas las seguridades para efectuar la prueba, al validar cada uno de estos parámetros requeridos antes de la operación de la prueba de generación.

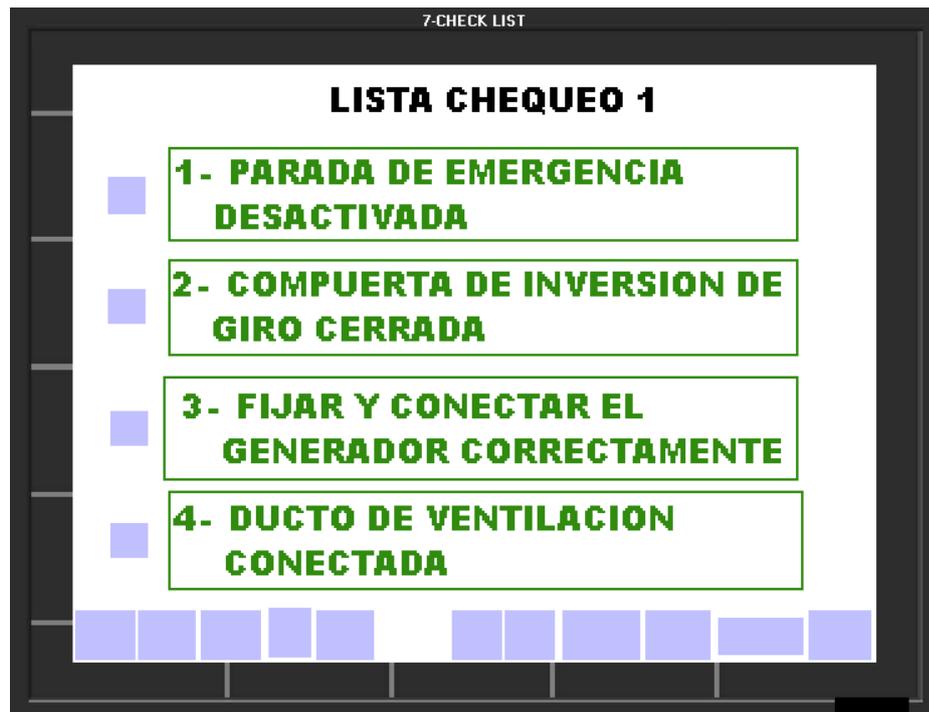


Figura 2.41. Pantalla lista de chequeo 1.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

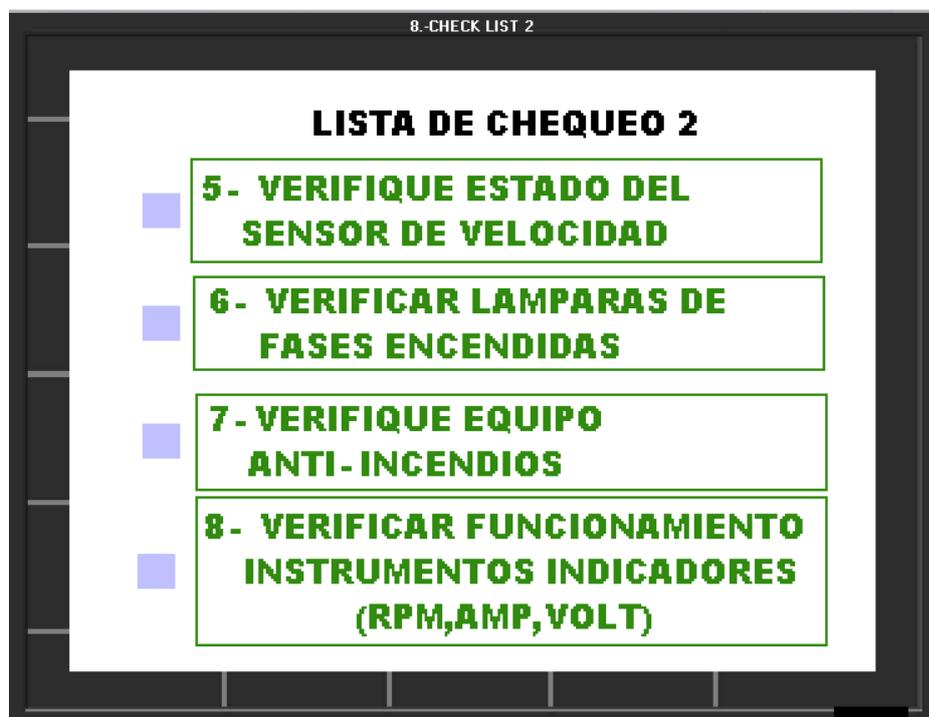


Figura 2.42. Pantalla lista de chequeo 2.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Pantalla de transmisión

La Figura 2.43 muestra el módulo de transmisión y permite el control de la misma, al obturar en la pantalla el icono del motor, se energizan los circuitos del banco de pruebas y motor principal, de este manera entra en movimiento y generara los siguientes cambios en el banco:

1. Dentro del icono de activación de la transmisión en la pantalla del OPLC se cambiará el texto de OFF a ON.
2. El reloj del tiempo de funcionamiento de la transmisión en la pantalla del OPLC (parte inferior derecha) empezará a correr. Se detendrá cuando se apague la transmisión.
3. El icono del generador se activará en la barra de tareas.
4. La lámpara MOTOR PRINCIPAL en el módulo de control se encenderá al activar el contactor del motor principal.
5. El visualizador de RPM en el módulo de instrumentos marcará la velocidad de giro de la transmisión (Mínimas 3000 RPM), el indicador de voltaje mostrará la tensión residual del generador, el amperímetro presenta la corriente suministrada por el generador.
6. Será notorio el ruido producido por el motor. La función de incremento o decremento de la velocidad será controlado por las teclas ↑ y ↓ en el teclado alfanumérico del OPLC, esto activará los iconos  y  en la barra de tareas del HMI y al mismo tiempo aparece el icono de variación de velocidad del circuito de motor.
7. Al pulsar el icono  se energiza los circuitos del ventilador del generador a la vez se activa: el icono en la barra de tareas y la lámpara en el módulo de control que indica que el contactor de motor del ventilador está cerrado.
8. Al presionar nuevamente el icono  desactiva el circuito del enfriamiento, el icono en la barra de tareas, y se apagará la lámpara de COOL FAN.

La obturación de los iconos de activación, cargas y ventilación durante la operación de transmisión generará que entre en el proceso de apagado.

Existen dos modos principales de apagado:

Apagado normal

Para terminar las pruebas de generación se debe suspender el proceso: desconexión de las cargas, disminuir la velocidad de la transmisión a su valor mínimo, oprimir el icono de apagado; consecuentemente, se desactivaran los iconos en la barra de tareas, luz de MAIN MOTOR y COOL FAN, detendrá el reloj de tiempo de funcionamiento y apagara las lecturas de RPM, corriente y voltaje en el módulo de instrumentos.

Durante 60 segundos luego de la desactivación del motor principal, los visualizadores del módulo de instrumentos decrecen hasta alcanzar un valor de cero. A la vez, bloquea la activación en un periodo de 20 segundos, con el propósito de evitar daños en la transmisión debido a activaciones inoportunas por el operador.

Apagado automático

Este modo entra en funcionamiento al obturar el icono de apagado de la transmisión que gira a velocidades diferentes a las mínimas, para lo cual, se activa un circuito temporizador de 50 segundos representado en la barra de tareas. Durante este tiempo, automáticamente bajará la velocidad, desactivarán las cargas y la ventilación. Cuando la velocidad llegué a valores aceptables se activará el temporizador de apagado normal ya descrito anteriormente.

Apagado parada por emergencia

La tercera forma de apagado de la transmisión es Parada Por Emergencia se activa en caso de emergencia, puesto que implica un procedimiento especial para reiniciar las pruebas.

Advertencia: Si el usuario durante el procedimiento de operación normal observa cualquier tipo de anomalía: ruidos extraños, trancas mecánicas, fuego, etcétera. Se activa una parada súbita al presionar el botón *Parada Emergencia* ubicado en la parte superior izquierda del módulo de alimentación.

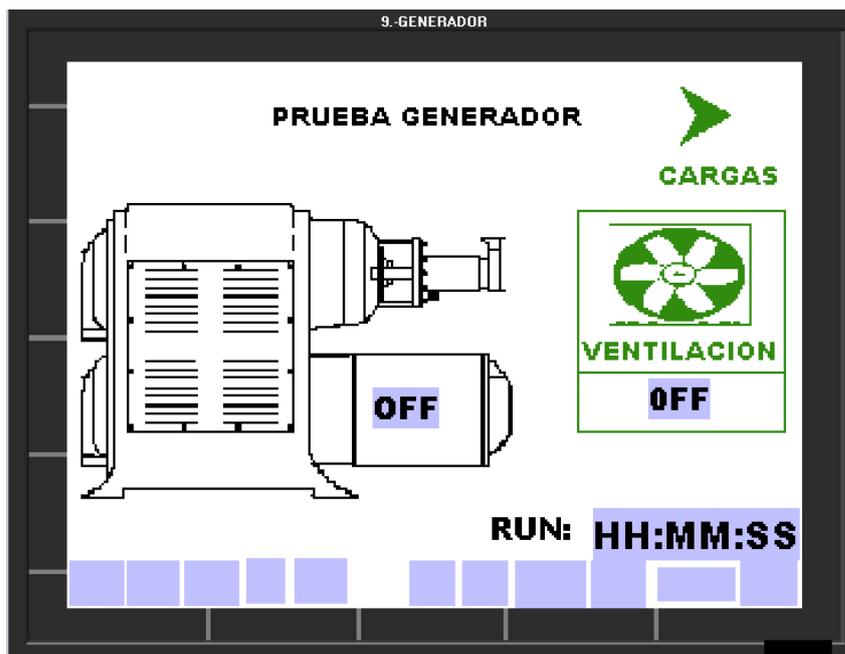


Figura 2.43. Pantalla de prueba de generador.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Pantalla de cargas

Permite la selección y control de los circuitos de carga, a través de esta pantalla se puede seleccionar la carga deseada a aplicar al circuito de generación en opciones de 10, 10, 20, 20, 40, 100, 100 y 100 Amp, como se aprecia en la Figura 2.44. Con la posibilidad de seleccionar el valor deseado en múltiplos de 10 Amp.

En la parte superior-central de la pantalla se visualiza el total de carga seleccionada. La activación de cualquiera de las cargas se podrá efectuar al presionar en la pantalla el valor deseado, lo que activa el icono LOAD en la barra de tareas, el icono ON al frente de la carga seleccionada y al mismo tiempo activará los circuitos de control del ventilador del banco de cargas, lo que garantiza una refrigeración de las resistencias del banco de cargas para protegerlo de daños producidos por temperatura. En la esquina inferior izquierda se visualiza un reloj que inicia al seleccionar cualquier valor de carga, en la parte derecha el tiempo de operación de la transmisión.

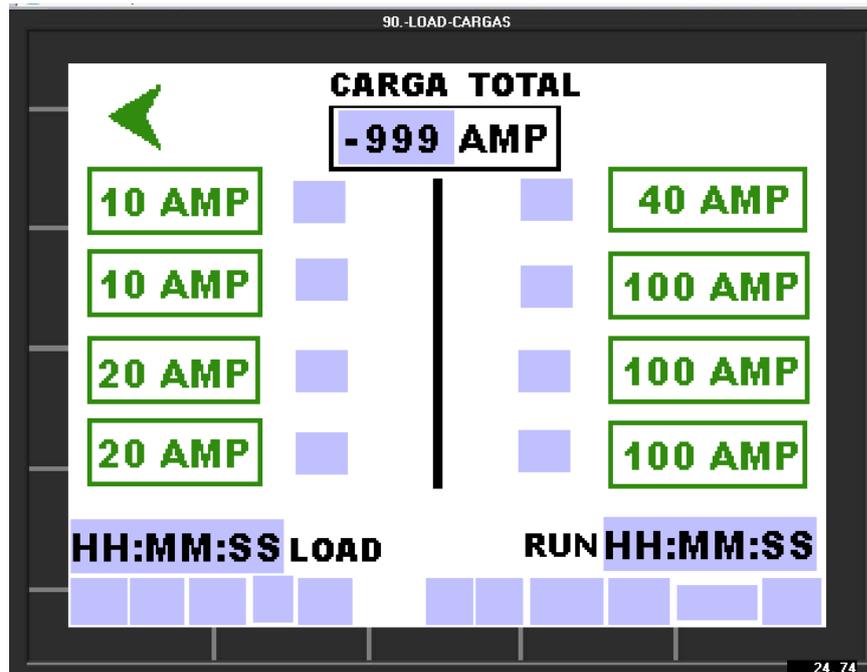


Figura 2.44. Pantalla de cargas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

g. Asentamiento de escobillas

Pantalla conexión eléctrica

La pantalla presenta el diagrama eléctrico del asentamiento de escobillas, con la finalidad que el usuario verifique las conexiones antes de la puesta en marcha de la operación.

La Figura 2.45 muestra las líneas de conexión entre el tablero de suministro de energía eléctrica de corriente continua y el generador, se debe recalcar que los terminales correspondientes estén asegurados con las arandela y tuercas para su operación.

Es necesario que el operario verifique que la fuente suministre 28 Vdc y 100 amperios para el arranque en vacío del generador.

La flecha situada en la parte superior derecha de la pantalla al obturarse permite avanzar hacia la lista de chequeo.

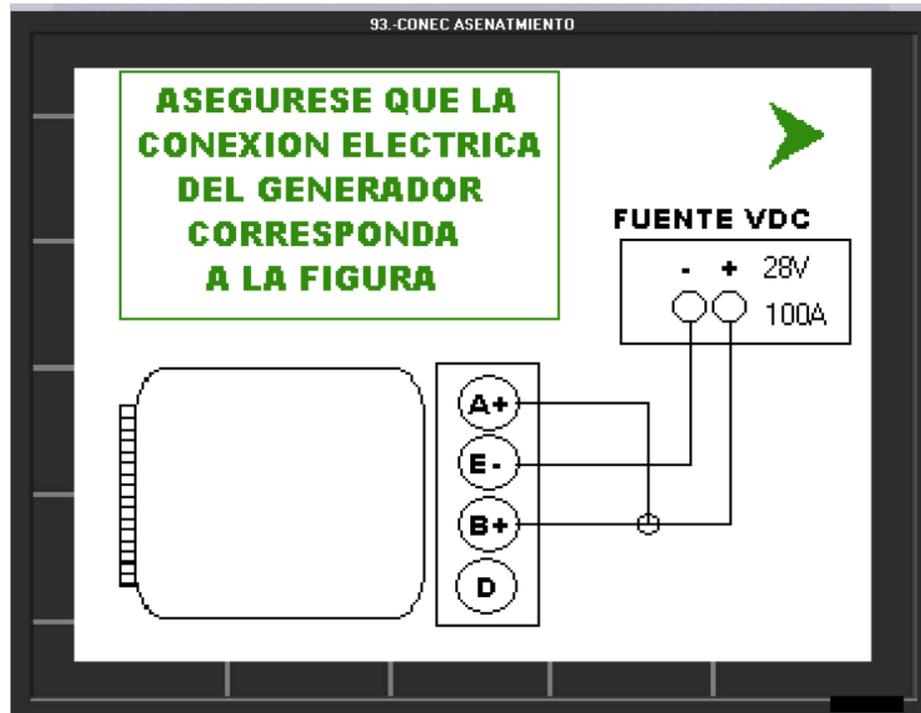


Figura 2.45. Pantalla de conexión eléctrica de asentamiento de escobillas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Pantalla lista de chequeo

Es la pantalla principal antes de proceder a operar el asentamiento de escobillas. Su aplicación es mandataria siempre que se conecte el generador.

En la parte inferior de la pantalla aparecerá la barra de tareas, la cual notifica el estado de operación del banco en todo momento, estos iconos estarán a la vista del operario cuando el correspondiente sistema se active.

El operario debe comprobar que cada ítem este activado (OK), una vez que los cuatro ítems de la Figura 2.46 estén verificados, la siguiente página de configuración se presenta automáticamente, con las siguientes opciones:

1. Parada de emergencia desactivada.
2. Verificar ubicación de generador en su base.
3. Verificar conexiones eléctricas.
4. Verificar la estructura asegurada.

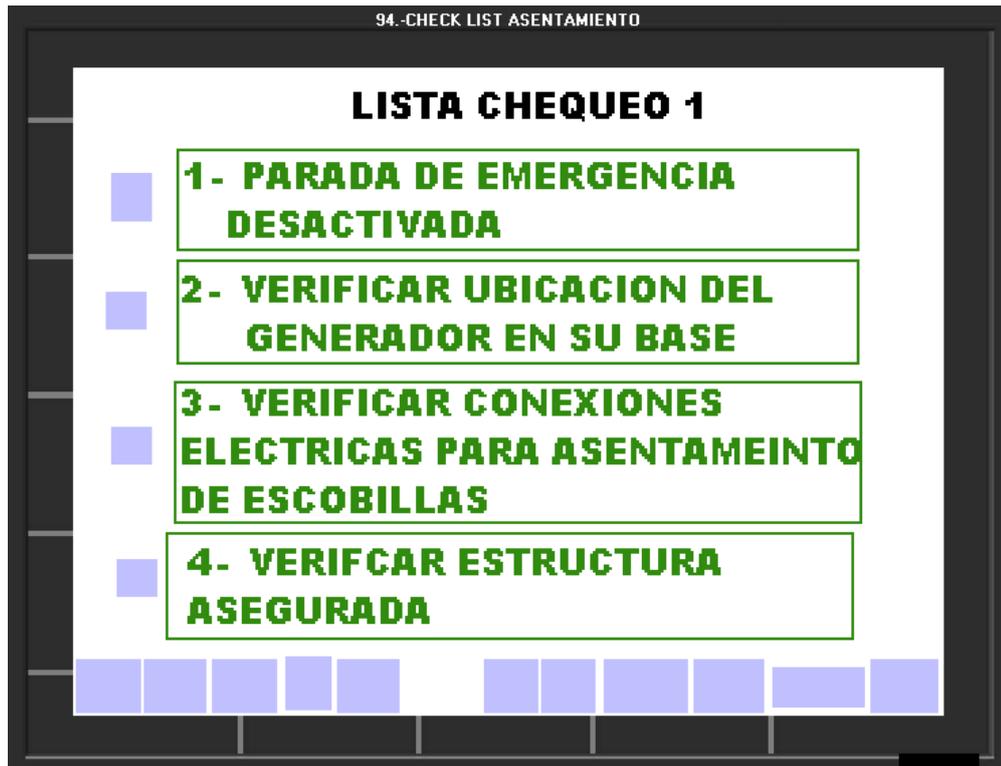


Figura 2.46. Pantalla lista de chequeo asentamiento escobillas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Pantalla configuración

Permite la selección y control del número de ciclos, así como, el tiempo en alto de los mismos, a través de esta pantalla se puede seleccionar los valores de tiempo en opciones de:

- 5 minutos.
- 10 minutos.
- 20 minutos.
- 30 minutos.

Con la facilidad de sumar un total de 65 minutos y seleccionar el valor deseado en múltiplos de 5 min, como se aprecia en la Figura 2.47.

En la parte inferior derecha de la pantalla se visualiza el total de tiempo en minutos seleccionados. La activación de cualquiera de las opciones se podrá efectuar al presionar en la pantalla el valor deseado.

En la pantalla central derecha se indica una flecha que luego de la selección del tiempo deseado permite el paso a la siguiente página.



Figura 2.47. Pantalla configuración asentamiento escobillas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Pantalla asentamiento escobillas

La Figura 2.48 muestra el símbolo de un generador , al obturar en la pantalla éste ícono, se energiza al generador con 28 Vdc lo que hace que este actúe como motor de corriente continua, de esta manera entra en movimiento y realiza los siguientes cambios en el banco:

1. Dentro del icono de activación de asentamiento en la pantalla del OPLC se cambiara el texto de OFF a ON.
2. El cronómetro de tiempo transcurrido y restante en la pantalla del OPLC parte céntrica empezará a correr. Se detendrá cuando se apague o finalice la operación.
3. El ícono **RESET** al ser presionado, detendrá y reiniciará el tiempo de asentamiento de escobillas.



Figura 2.48. Pantalla asentamiento escobillas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

h. Pantalla de seguridad

Esta pantalla se activará únicamente cuando el usuario ha ingresado el password incorrecto. Al presionar el icono de alto como indica la Figura 2.49 retornará la ventana de Contraseña.



Figura 2.49. Pantalla de seguridad.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

CAPÍTULO III

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Introducción

El presente capítulo muestra 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.

3.2. Descripción física y detalle 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 3.1. 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.

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 3.2 se observa el cómo se encuentra distribuido el módulo de transmisión.



Figura 3.1. Módulo de control implementado.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

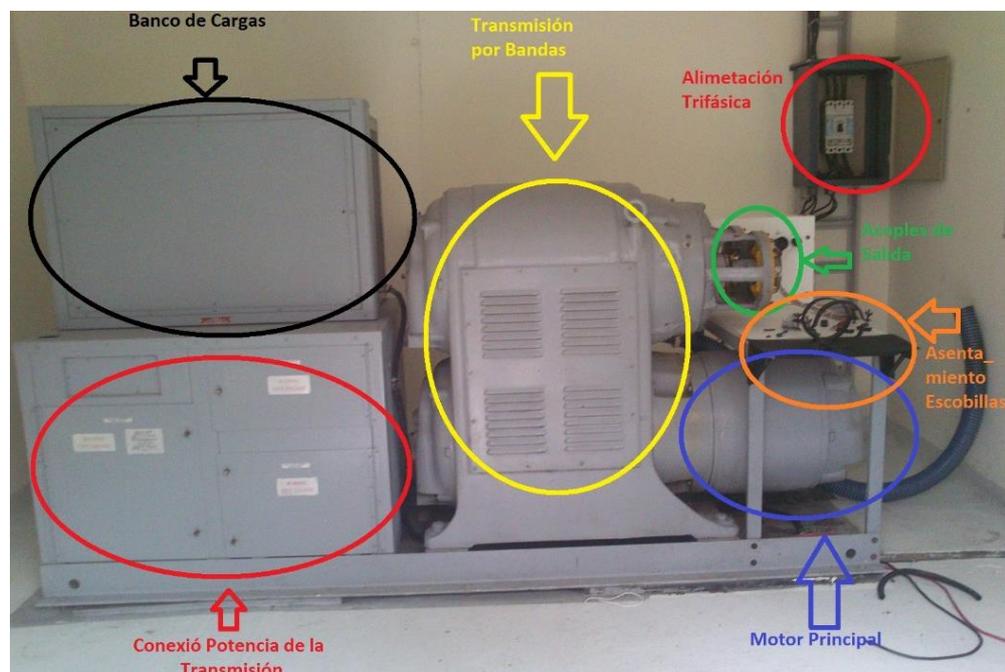


Figura 3.2. Módulo de transmisión.

Fuente: Escuadrón de mantenimiento N°23-23.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

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 3.3 se muestra el banco de pruebas implementado.

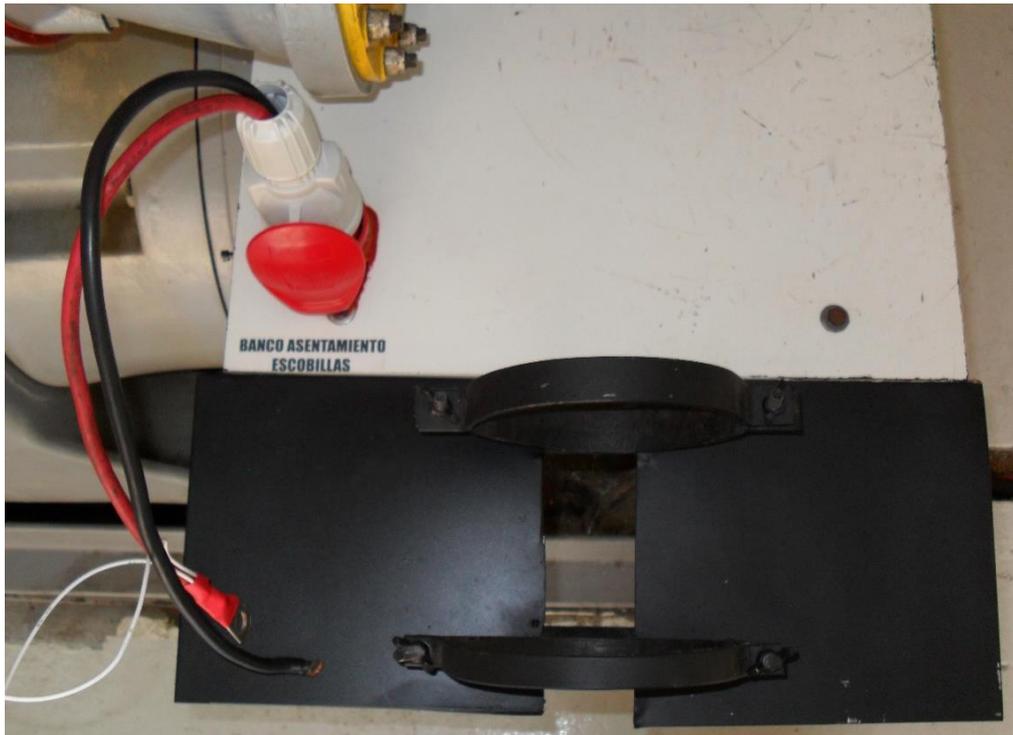


Figura 3.3. Implementación banco asentamiento de escobillas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.3. Pruebas de funcionamiento de los equipos

En esta sección se muestran las pruebas a las que se sometieron cada uno de los equipos, para garantizar el buen funcionamiento de los dispositivos y unidades del banco de pruebas.

Las pruebas realizadas al generador dentro de la consola de control con la ayuda del módulo de transmisión y cargas, son monitoreadas y controladas mediante el OPLC y GCU.

3.3.1. Módulo de potencia

El módulo de potencia es el primer módulo que el operario utilizara, en él se encuentra el encendido del banco de pruebas y alimenta a los otros módulos, en la Figura 3.4 se muestra el módulo implementado.

- **Switch de encendido y apagado.-** Se utiliza un switch ON/OFF para el encendido y apagado del banco de pruebas, el mismo que posee una luz piloto para verificar su funcionamiento.
- **Botón parada emergencia.-** En caso de algún inconveniente durante la operación, al presionar este botón se deshabilita todas las acciones en el banco de pruebas.
- **Luces indicadoras de fase.-** Son tres luces que advierten al operario que puede utilizar el banco, en caso de faltar una de ellas no está operativo el banco de pruebas y deberá buscar ayuda técnica.



Figura 3.4. Prueba de funcionamiento módulo de potencia.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.3.2. Módulo de instrumentos

El módulo está dotado de un amperímetro, que permite visualizar el valor de la corriente que entrega el generador durante la prueba, un voltímetro para verificar si el generador entrega 28Vdc al aumenta la velocidad y las cargas, y un tacómetro que muestra el número de revoluciones por minuto a las que gira el generador.

La Figura 3.5 muestra como ese encuentran dispuestos los instrumentos de medida.



Figura 3.5. Módulo de instrumentos implementado.

Elaborado por: Escobar A, Bassante V.

Al poner en marcha el motor de transmisión, el módulo de tacómetro iniciará en 3000 RPM, el voltímetro en cero voltios (0V) al igual que el amperímetro (0A) como se indica en la Figura 3.6



Figura 3.6. Módulo de instrumentos en funcionamiento a 3156 RPM.

Elaborado por: Escobar A, Bassante V.

Una vez puesto en marcha a 6000 RPM el generador entregara valores como lo muestra la Figura 3.7 de RPM, Voltaje y Corriente. El generador debe mantener constante los 28 voltios de generación desde las 6000 hasta las 11000 revoluciones por minuto, no se debe superar este último valor, ya que se corre el riesgo de dañar la unidad de control de generación y el generador.



Figura 3.7. Módulo de instrumentos a 6259 RPM.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.3.3. Módulo osciloscopio

El modulo básicamente contiene el osciloscopio y dos canales de conexión para visualizar el voltaje de control de campo para efectuar análisis en los circuitos de control, regulación de las GCU, el canal 2 está conectado a TB-1 para monitorear algunos parámetros específicos de la GCU. En la Figura 3.8 se muestra el módulo de Osciloscopio implementado.

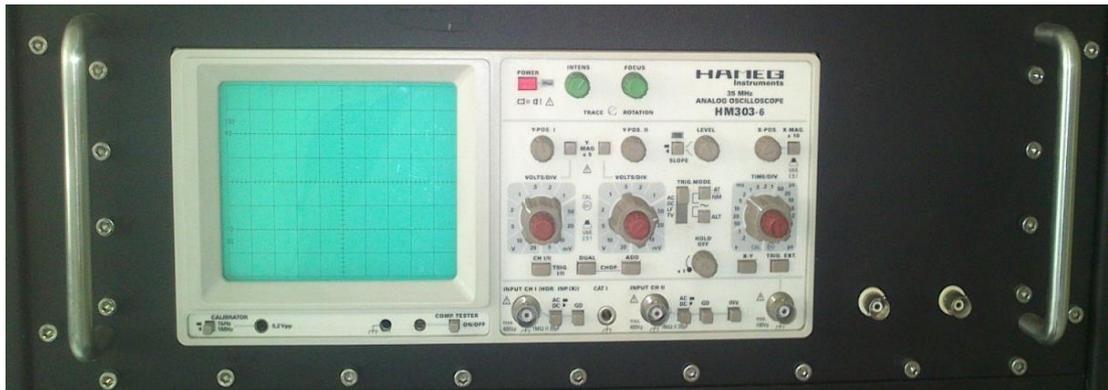


Figura 3.8. Módulo osciloscopio implementado.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

En la Figura 3.9 se indica las señales de corriente y voltaje a 3000 RPM, mientras que en la Figura 3.10 se representa las señales a 6000 RPM en la que se observa la señal apenas empieza a controlar el campo.

En la Figura 3.11 se puede apreciar la prueba a una velocidad máxima de 11000 RPM.



Figura 3.9. Módulo osciloscopio a 3000 RPM.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

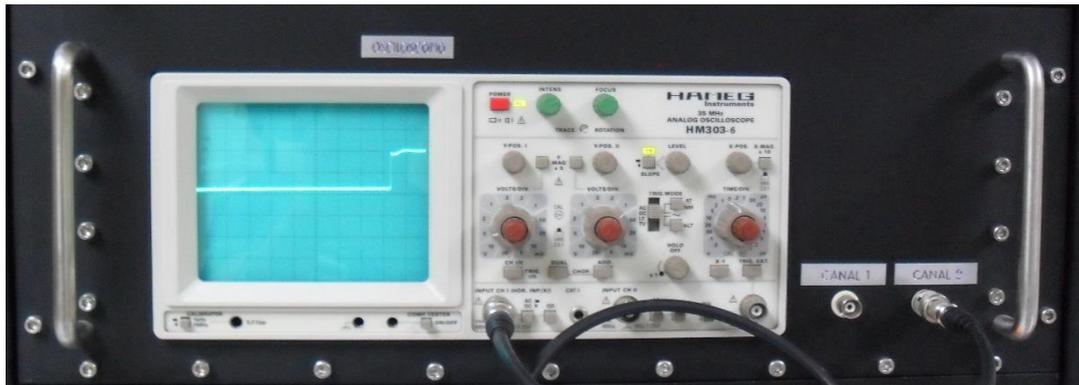


Figura 3.10. Módulo osciloscopio a 6000 RPM.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

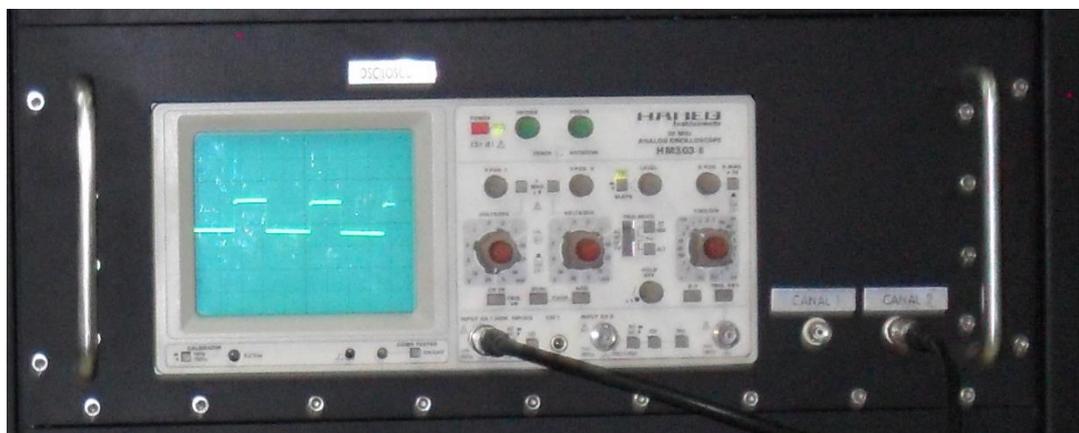


Figura 3.11. Módulo osciloscopio a 11000 RPM.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.3.4. Módulo OPLC

El módulo de OPLC es el encargado de controlar y monitorear el correcto funcionamiento de las pruebas de generación, mediante el accionamiento de: motor de transmisión

- Variador de velocidad.
- Módulo de cargas.
- Ventilación.
- Asentamiento de escobillas.

En la Figura 3.12 se indica la pantalla de bienvenida una vez activada la a consola de control.



Figura 3.12. Pantalla de bienvenida implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Luego de presionar la flecha continuar se presenta la pantalla como lo indica la Figura 3.13, además, se exhibe los datos de placa del equipo como:

- Modelo.
- Número de parte.
- Serie.
- Aplicabilidad.
- Software.
- Horas de trabajo.



Figura 3.13. Pantalla datos de placa del equipo implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

La pantalla de contraseña se presenta una vez seleccionada la flecha continuar de la pantalla datos de placa del equipo. Las flechas arriba y abajo permite elegir el nombre del usuario que opera el banco de pruebas, se ingresa la contraseña mediante el teclado alfanumérico que posee el OPLC, como se observa en la Figura 3.14.



Figura 3.14. Pantalla de password implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Si la contraseña ingresada es errónea, la pantalla de seguridad se presenta como en la Figura 3.15.



Figura 3.15. Pantalla de seguridad implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Para retornar basta con presionar el icono de alto y el usuario puede ingresar nuevamente su contraseña.

Una vez ingresado correctamente el password se presenta la pantalla de límites de operación con los valores de:

- Voltaje.
- Corriente.
- Revoluciones por minuto máximas y mínimas.
- Rango de cargas.
- Potencia consumida por el generador.

La Figura 3.16 muestra dicha pantalla con cada uno de los ítems antes mencionados, lo que permite al operador verificar el correcto funcionamiento del banco de pruebas.



Figura 3.16. Pantalla límites de operación implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Al obtener la flecha hacia delante de la pantalla anterior se presenta un menú que permite seleccionar el modo de operación del banco las opciones se las observa en la Figura 3.17.



Figura 3.17. Pantalla menú implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Si en el menú el operario selecciona la opción “Prueba Generador”, la pantalla de conexiones se desplegara con el diagrama eléctrico tal como se ilustra en la Figura 3.18.

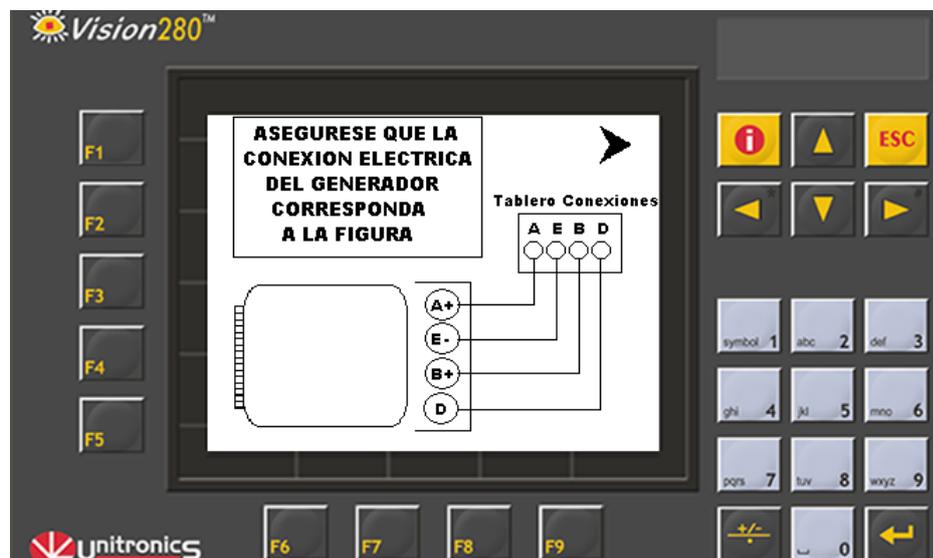
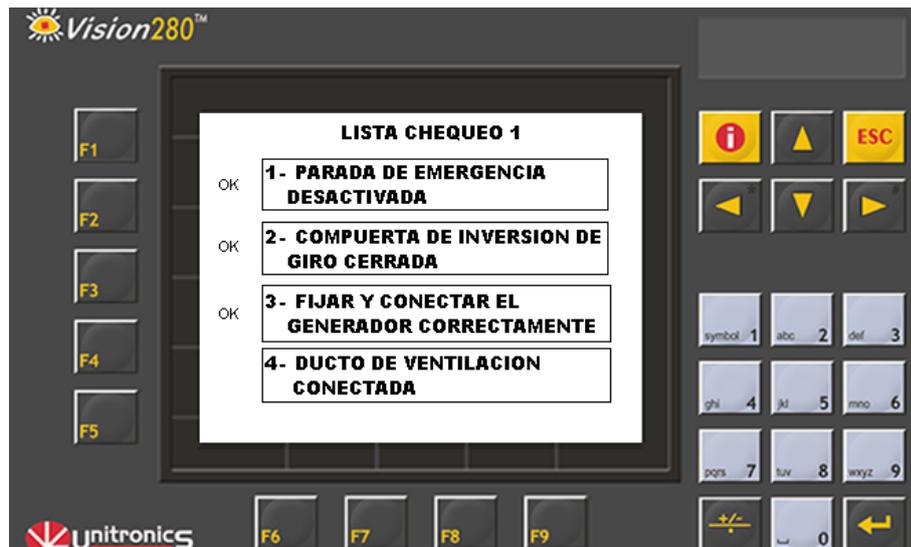


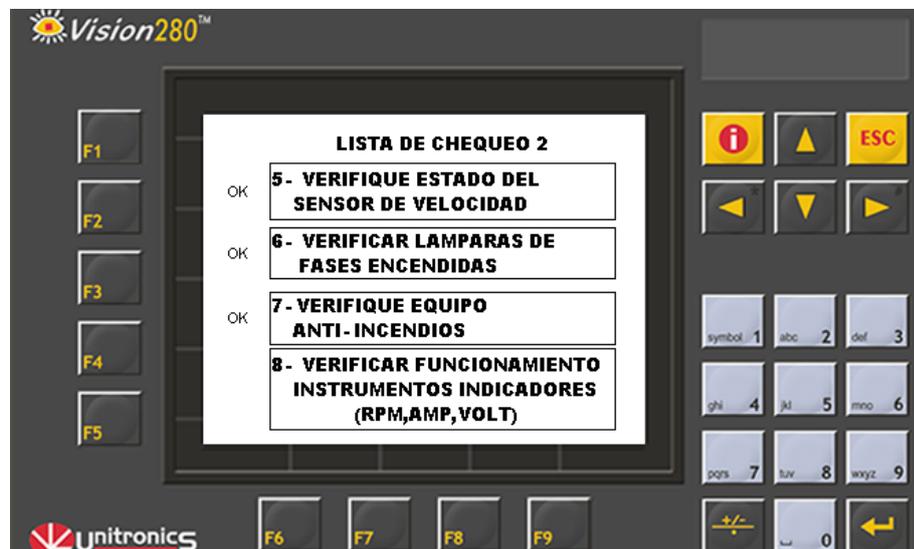
Figura 3.18. Pantalla de conexiones eléctricas generador implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Las pantallas de lista de chequeo 1 y chequeo 2 aparecen después de pulsar la flecha de la esquina superior derecha de la pantalla anterior, los ítems de selección se muestran en la Figura 3.19.



(a)



(b)

Figura 3.19. (a) Pantalla lista de chequeo 1 implementada.

(b) Pantalla lista de chequeo 2 implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Si todos los ítems están seleccionados automáticamente se muestra la pantalla de transmisión, la misma permite activar al motor al presionar la palabra **OFF**, la ventilación de igual manera que el motor se debe obturar en el botón con el texto **OFF**.

Se avanza a la página de cargas siempre y cuando este activado el motor, como se observa en la Figura 3.20.

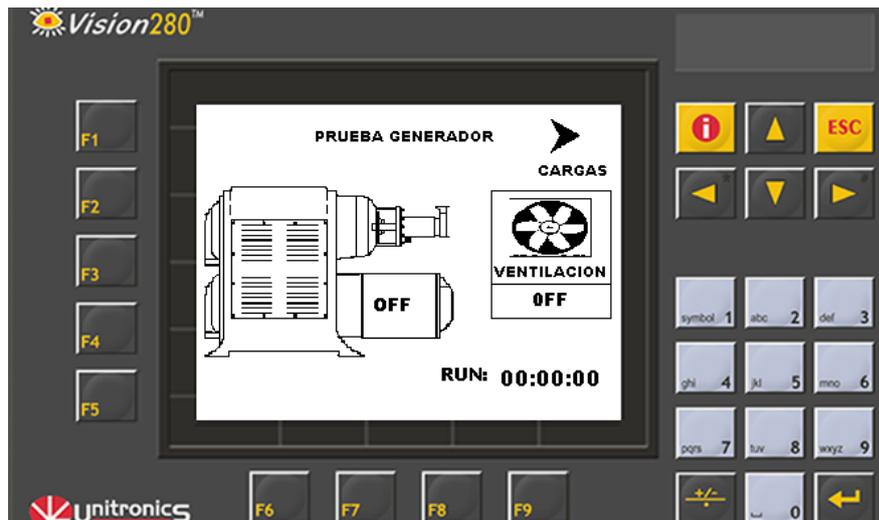


Figura 3.20. Pantalla de transmisión implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

La pantalla de cargas posee varios ítems que permiten la activación de las cargas con los siguientes valores de 10 amperios, 20 amperios, 40 amperios y 100 amperios.

La Figura 3.21, indica cómo están distribuidas las diferentes cargas con cada uno de sus valores.

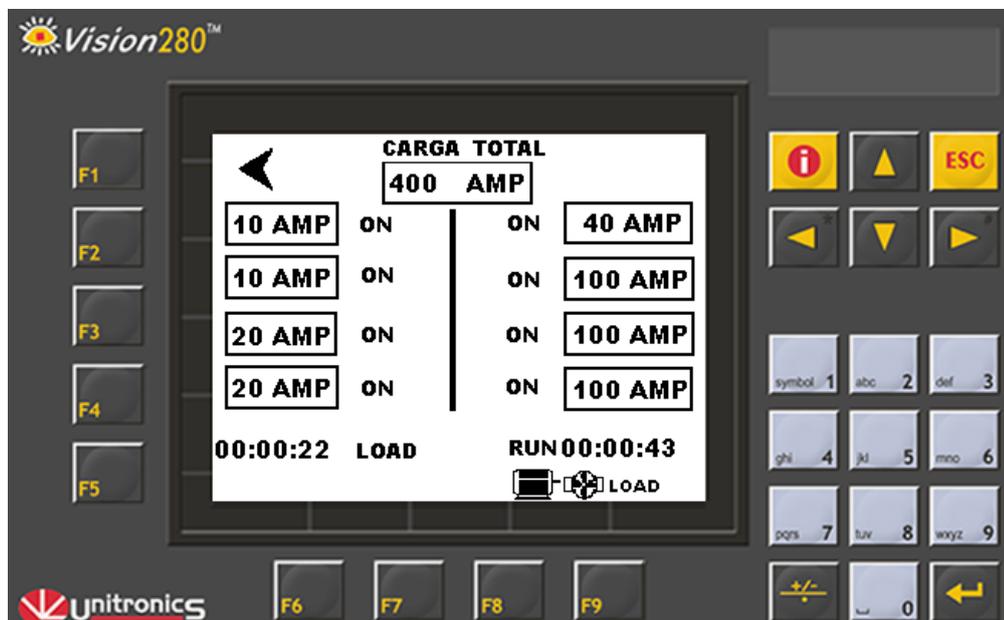


Figura 3.21. Pantalla de cargas implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Si en la opción de la pantalla menú el operario selecciona “Asentamiento Escobillas”, se presenta el diagrama eléctrico como se aprecia en la Figura 3.22. En el que se indica los terminales y borneras con sus respectivas etiquetas.

El mismo que permite al operario verificar y asegurar que las conexiones de la prueba son las correctas, de esta manera se evita posibles accidentes y averías en los elementos.

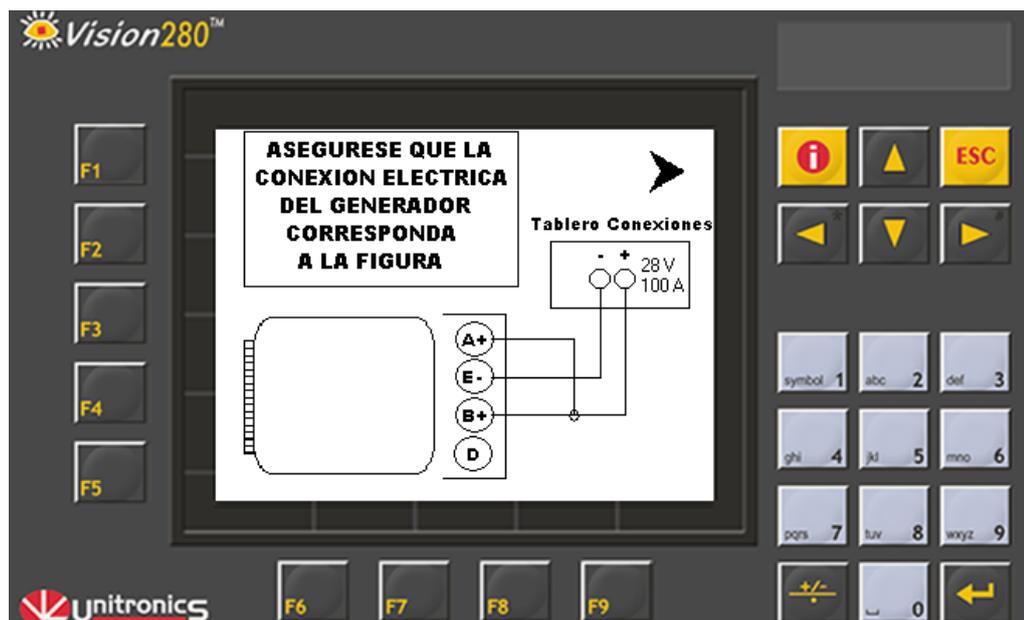


Figura 3.22. Pantalla conexión eléctrica asentamiento implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Después de presionar la flecha continuar se presenta la ventana de lista de chequeo de asentamiento de escobillas, que se muestra en la Figura 3.23.

Se debe poner en modo (OK) cada uno de los ítems al presionar dos veces en el cuadro de texto como son:

- Parada de emergencia.
- Verificar ubicación del generador en su base.
- Verificar conexiones eléctricas.
- Verificar estructura está asegurada.

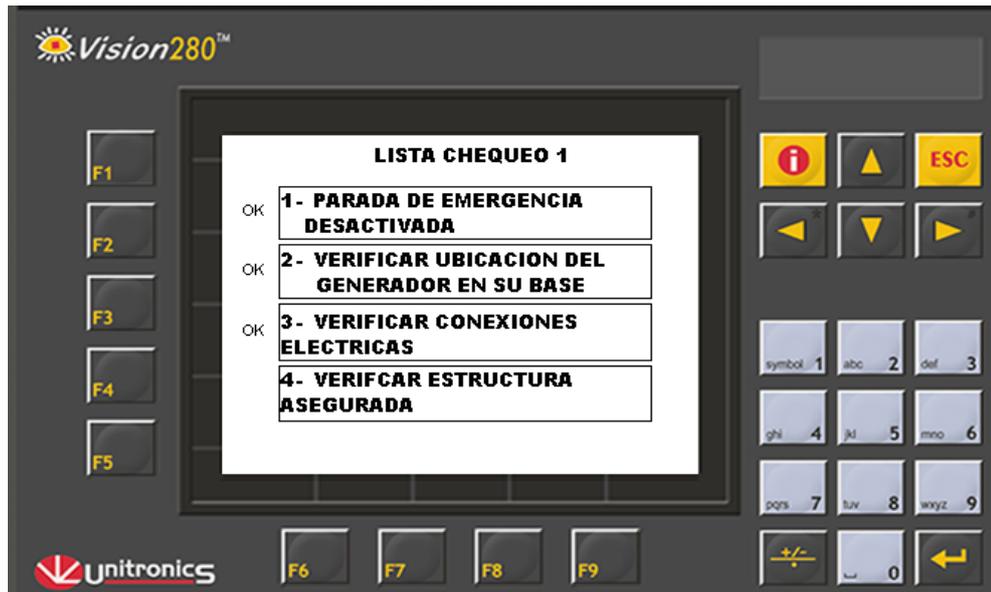


Figura 3.23. Pantalla lista de chequeo implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Quando todos los ítems de la pantalla de lista de chequeo de asentamiento de escobillas han sido seleccionados, automáticamente aparece la ventana de configuración de tiempo de asentamiento, como ilustra la Figura 3.24.

Para la selección del tiempo de asentamiento se presenta opciones de los siguientes valores: 5 minutos, 10 minutos, 20 minutos y 30 minutos.



Figura 3.24. Pantalla de configuración tiempo asentamiento implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Luego de seleccionar el tiempo de asentamiento, al presionar el icono de la flecha continuar se presentará la pantalla de activación del asentamiento de escobillas. Se le energiza al generador al obturar en el icono con la palabra **ON**, se puede desactivar al presionar en icono **OFF**, y resetear los tiempos con la el icono **RESET** como se muestra en la Figura 3.25.

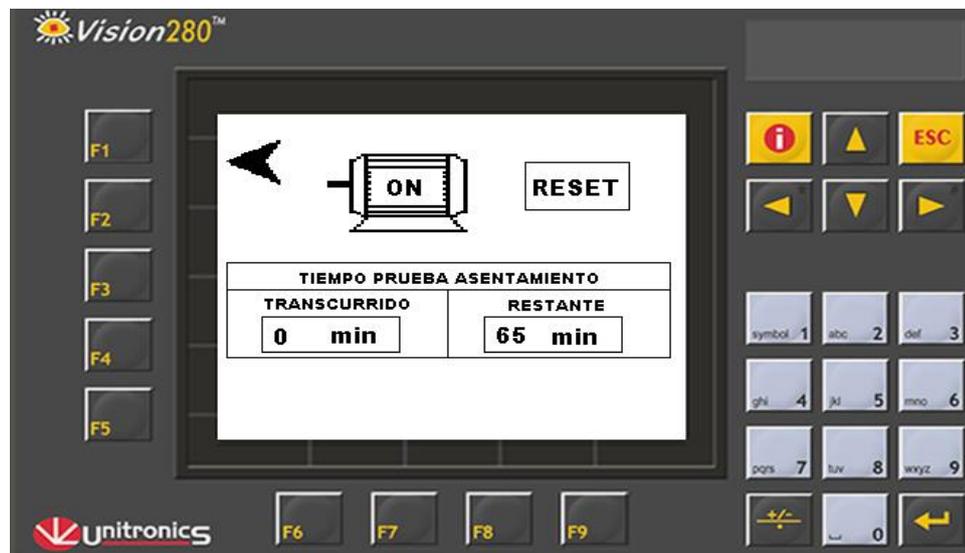


Figura 3.25. Pantalla asentamiento de escobillas implementada.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

El módulo OPLC adicional al controlador posee luces indicadoras, que permiten visualizar cuando se activa el motor, la ventilación, las cargas o si pasa de los rangos de velocidad de operación del generador y la GCU. Esto se puede observar en la Figura 3.26.



Figura 3.26. Módulo OPLC implementado.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.3.5. Módulo GCU

El módulo de GCU, permite controlar el voltaje de salida del generador, modificar el voltaje de campo, simular fallas como corriente reversa y sobre voltaje, situación y control de eualización y capacidad de generación en la GCU interna y externa. El modulo entra en operación al presionar Start, posteriormente activar el switch Gen On, Sensor, Gen/Sym y el interruptor Equ Rly. Las luces indicadoras se activaran cuando el generador llegue a las 6000 RPM. En la Figura 3.27 se encuentra el módulo implementado.



Figura 3.27. Módulo GCU implementado.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.3.6. Módulo transmisión

a. Motor principal

El motor principal o motor de transmisión, opera dentro de los rangos de velocidad apropiados para la comprobación del generador arrancador, es por eso que se utiliza este equipo en las pruebas de generación. Estas velocidades se logran gracias a la transmisión por doble banda acoplado al motor eléctrico, que a su vez, permite obtener dos salidas, la primera de alta velocidad y la segunda de velocidad moderada. En la Tabla 3.4 se muestra la salida asignada desde el OPLC.

En la Figura 3.28 se puede observar la transmisión de doble banda que posee el motor principal.



Figura 3.28. Transmisión por doble banda.

Fuente: Escuadrón de mantenimiento N°23-23.

Elaborado por: Escobar A, Bassante V

La Tabla 3.1 muestra los datos de placa del motor principal que se utiliza en las pruebas de generación.

NOTA: Se utiliza la salida de alta velocidad, debido a que el Generador actúa de forma apropiada en velocidades de 6800 a 11600 RPM.

Tabla 3.1. Datos de placa del motor principal.

U.S. VARIDRIVE MOTOR		
Frame	83-444U-52	
Frecuencia	60 Hz	
Tipo	VEU-GSDT	
VOLTAJE	220/440 VAC	
	HI SPEED	LOW SPEED
R.P.M MIN	3000	2350
R.P.M MAX	11600	9000
HP	60	

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Conexión de potencia del motor principal

Posee un arrancador suave, que recibe la señal de la salida O 10 del OPLC, lo que permite activar o desactivar al motor. EL contactor LC1-F400 en conjunto con los terminales de conexión realiza el arranque. En la Figura 3.29 se muestra como se encuentran ubicados los contactores.



Figura 3.29. Conexión arrancador suave trifásico motor principal.

Fuente: Escuadrón de mantenimiento N°23-23.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

La Figura 3.30 indica cómo se encuentran distribuidos los terminales de conexión tanto para el arranque del motor principal como para la ventilación.



Figura 3.30. Terminales de conexión trifásica.

Fuente: Escuadrón de mantenimiento N°23-23.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Variador de velocidad

El motor principal posee un variador de velocidad con motor encerrado en una cápsula de hierro fundido, montado en el bastidor. Como se observa en la Figura 3.31. Para modificar la velocidad del motor se aplica el principio de corrientes de Foucault¹, lo cual, produce un deslizamiento entre el árbol motor y el árbol de utilización, mediante dos salidas del OPLC se controla al incremento o decremento de velocidad comprendidos entre 3000 a 11600 RPM en el acople de salida de alta velocidad. La Tabla 3.2 muestra las salidas del OPLC utilizadas y la acción que cumple cada una de ellas.

Tabla 3.2. Descripción salidas OPLC decremento/incremento de velocidad.

Salida OPLC	
O 12	Incremento de Velocidad
O 13	Decremento de Velocidad

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.



Figura 3.31. Variador de velocidad.

Fuente: Escuadrón de mantenimiento N°23-23.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

¹ **Corriente de Foucault:** Fenómeno eléctrico que se produce cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable. El movimiento relativo causa una circulación de electrones, o corriente inducida dentro del conductor. Estas corrientes crean campos magnéticos que se oponen al efecto del campo magnético aplicado. **Fuente especificada no válida.**

b. Módulo de cargas

El banco de pruebas permite modificar las cargas de 0 a 600 Amperios; el generador de la aeronave A29-B solo requiere como máximo una carga de 400 Amperios, el diagrama eléctrico del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, indica claramente como están conectadas las cargas en el banco.

El control de las cargas se realiza mediante la activación de relés desde el controlador. Además, posee ventilación independiente, que se activa automáticamente cuando las cargas están conectadas. En la Tabla 3.3 se encuentra la distribución de las salidas del OPLC.

Tabla 3.3. Salidas del OPLC para las cargas.

Salida OPLC	
O 0	Primera Carga 10 A
O 1	Segunda Carga 10 A
O 2	Primera Carga 20 A
O 3	Segunda Carga 20 A
O 4	Carga 40 A
O 5	Primera Carga 100 A
O 6	Segunda Carga 100 A
O 7	Tercera Carga 100 A

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

c. Módulo de ventilación

La ventilación se puede activar de forma manual mediante una tag asignada a la pantalla del OPLC, una salida de relé que a su vez conmuta a un contactor para el arranque del ventilador trifásico.

Tabla 3.4. Salidas del OPLC activación del motor principal y ventilación.

Salida OPLC	
O 10	Motor principal
O 11	Ventilación

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.3.7. Módulo asentamiento de escobillas

El módulo de asentamiento permite realizar el ajuste de las escobillas nuevas, al utilizar el generador como motor de corriente continua y envejecer los carbones con el fin de lograr un acople entre los devanados del rotor con los terminales.

En la Figura 3.32 se observa el módulo implementado para ejecución del asentamiento de escobillas.

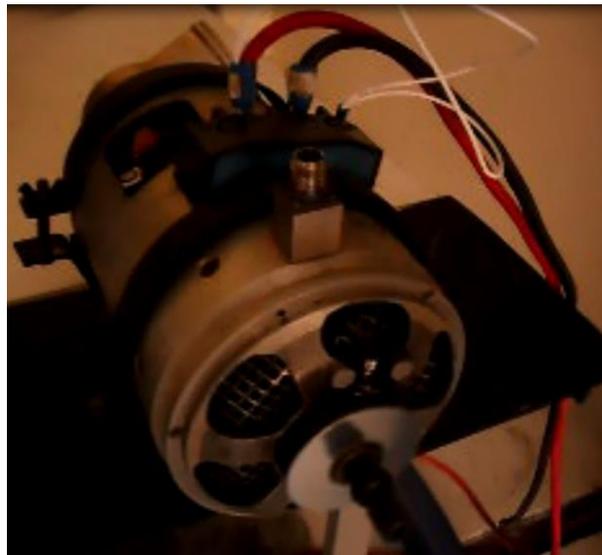


Figura 3.32. Módulo asentamiento de escobillas implementado.

Fuente: Escuadrón de mantenimiento N°23-23.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.4. Análisis de resultados

3.4.1. Generación de voltaje sin GCU sin cargas

La operación del banco de pruebas ha registrado los siguientes valores de voltaje, corriente y RPM al operar sin activar la GCU y las cargas. En la tabulación de datos se toma valores en incrementos de 250 RPM para analizar gráficamente la respuesta.

La representación gráfica de la Figura 3.33, permite visualizar claramente que al operar el banco de pruebas sin conectar la GCU el voltaje generado es mínimo, en valores inferiores a 2 voltios, que inicialmente se encuentran en valores bajos como 0,5 voltios.

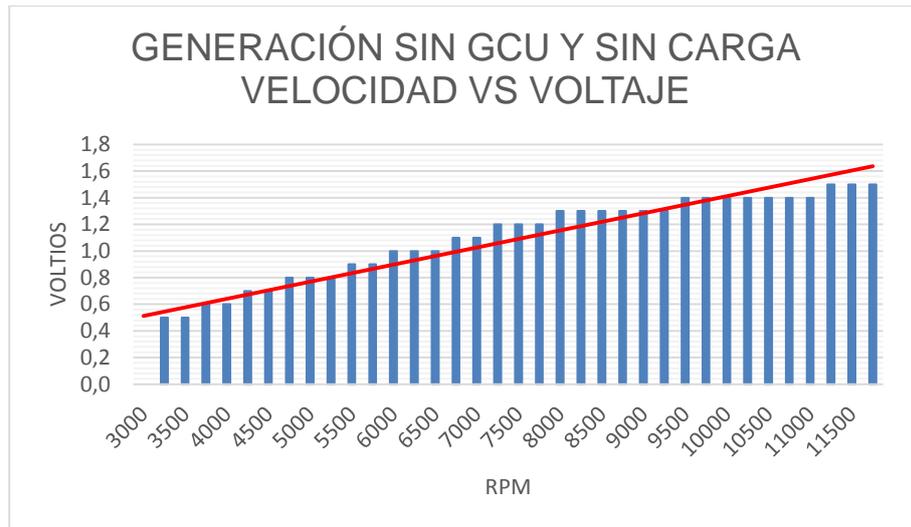


Figura 3.33. Gráfica velocidad vs voltaje sin GCU y sin cargas.
Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

En la Figura 3.34, se observa que la corriente permanece en cero debido a que no se conecta ninguna carga y la GCU no está activada.



Figura 3.34. Gráfica velocidad vs corriente sin GCU y sin cargas.
Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

En la Tabla 3.5 se visualiza valores bajos de voltaje y corriente, debido a que la GCU no controla el voltaje de campo.

Tabla 3.5. Resultados de generación sin GCU y sin cargas.

GENERACIÓN SIN GCU Y SIN CARGA			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,0	0,0
2	3250	0,5	0,0
3	3500	0,5	0,0
4	3750	0,6	0,0
5	4000	0,6	0,0
6	4250	0,7	0,0
7	4500	0,7	0,0
8	4750	0,8	0,0
9	5000	0,8	0,0
10	5250	0,8	0,0
11	5500	0,9	0,0
12	5750	0,9	0,0
13	6000	1,0	0,0
14	6250	1,0	0,0
15	6500	1,0	0,0
16	6750	1,1	0,0
17	7000	1,1	0,0
18	7250	1,2	0,0
19	7500	1,2	0,0
20	7750	1,2	0,0
21	8000	1,3	0,0
22	8250	1,3	0,0
23	8500	1,3	0,0
24	8750	1,3	0,0
25	9000	1,3	0,0
26	9250	1,3	0,0
27	9500	1,4	0,0
28	9750	1,4	0,0
29	10000	1,4	0,0
30	10250	1,4	0,0
31	10500	1,4	0,0
32	10750	1,4	0,0
33	11000	1,4	0,0
34	11250	1,5	0,0
35	11500	1,5	0,0
36	11750	1,5	0,0

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.4.2. Generación con GCU sin cargas

El banco permite realizar pruebas de generación sin aplicar cargas durante esta operación. En la Figura 3.35 se observa claramente que a partir de las 5750 RPM el voltaje de salida permanece constante. La

Tabla 3.6 muestra valores de voltaje suministrados a diferentes RPM.

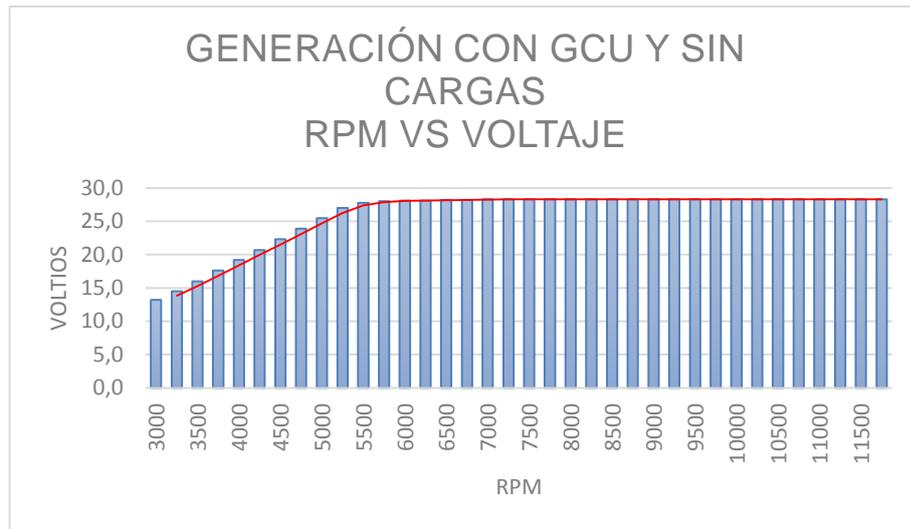


Figura 3.35. Gráfica de velocidad vs voltaje con GCU y sin cargas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

El generador suministra corrientes bajas a diferentes revoluciones por minuto, como se indica en la Figura 3.36.

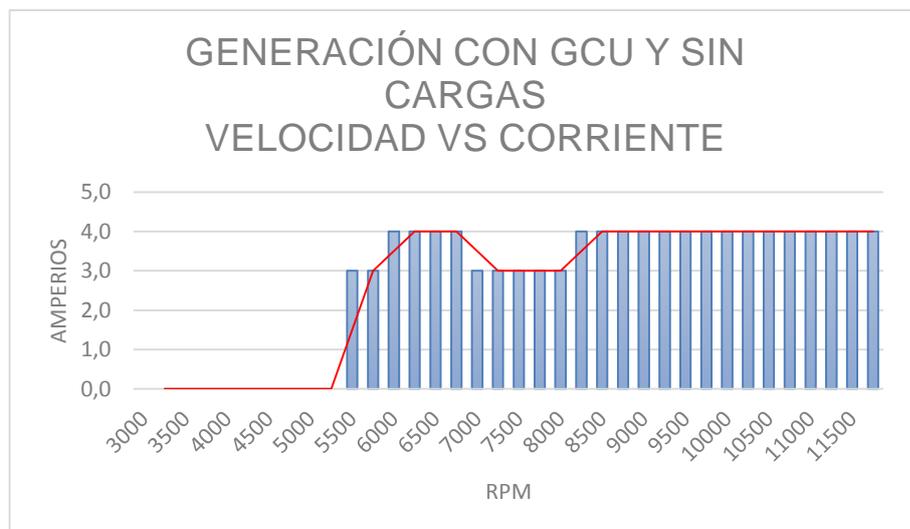


Figura 3.36. Gráfica de velocidad vs corriente con GCU y sin Cargas.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.6. Resultados de generación voltaje y corriente con GCU.

GENERACIÓN CON GCU Y SIN CARGA			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	13,2	0,0
2	3250	14,5	0,0
3	3500	16,0	0,0
4	3750	17,6	0,0
5	4000	19,2	0,0
6	4250	20,7	0,0
7	4500	22,3	0,0
8	4750	23,9	0,0
9	5000	25,5	0,0
10	5250	27,0	0,0
11	5500	27,8	3,0
12	5750	28,0	3,0
13	6000	28,1	4,0
14	6250	28,1	4,0
15	6500	28,2	4,0
16	6750	28,2	4,0
17	7000	28,3	3,0
18	7250	28,3	3,0
19	7500	28,3	3,0
20	7750	28,3	3,0
21	8000	28,3	3,0
22	8250	28,3	4,0
23	8500	28,3	4,0
24	8750	28,3	4,0
25	9000	28,3	4,0
26	9250	28,3	4,0
27	9500	28,3	4,0
28	9750	28,3	4,0
29	10000	28,3	4,0
30	10250	28,3	4,0
31	10500	28,3	4,0
32	10750	28,3	4,0
33	11000	28,3	4,0
34	11250	28,3	4,0
35	11500	28,3	4,0
36	11750	28,3	4,0

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.4.3. Generación con GCU y cargas

En la Figura 3.37, se observa claramente que a partir de las 5500 RPM el voltaje del generador se estabiliza en 28 voltios con una carga de 10 amperios. La Figura 3.38, presenta la corriente del generador a diferentes revoluciones, la misma que se estabiliza en 14 amperios. En la Tabla 3.7. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 10 AMP. Tabla 3.7 se indica los valores generados en la prueba a diferentes revoluciones.

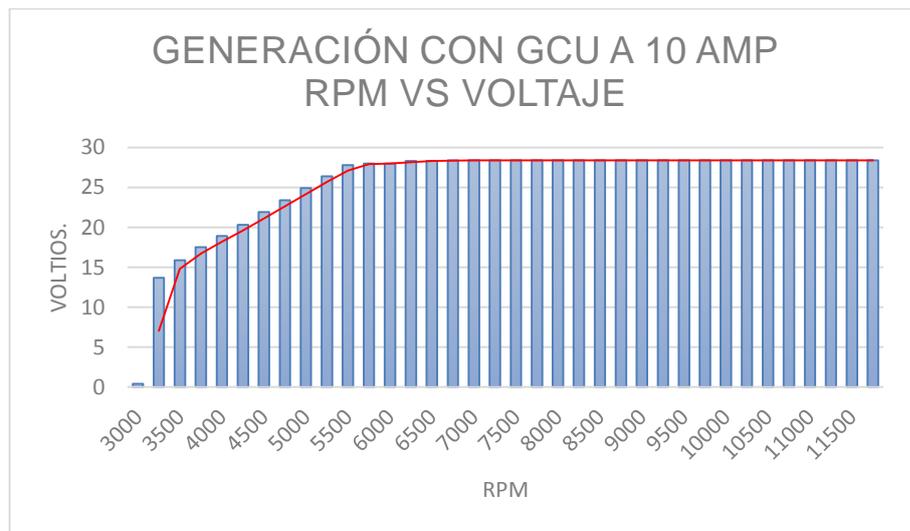


Figura 3.37. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 10 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

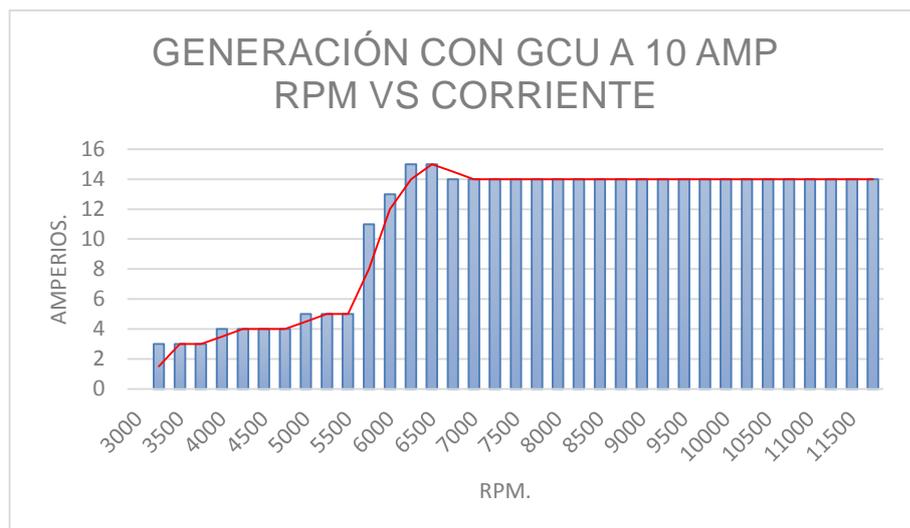


Figura 3.38. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 10 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.7. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 10 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 10 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,4	0
2	3250	13,7	3
3	3500	15,9	3
4	3750	17,5	3
5	4000	18,9	4
6	4250	20,3	4
7	4500	21,9	4
8	4750	23,4	4
9	5000	24,9	5
10	5250	26,4	5
11	5500	27,8	5
12	5750	28	11
13	6000	28	13
14	6250	28,3	15
15	6500	28,3	15
16	6750	28,4	14
17	7000	28,4	14
18	7250	28,4	14
19	7500	28,4	14
20	7750	28,4	14
21	8000	28,4	14
22	8250	28,4	14
23	8500	28,4	14
24	8750	28,4	14
25	9000	28,4	14
26	9250	28,4	14
27	9500	28,4	14
28	9750	28,4	14
29	10000	28,4	14
30	10250	28,4	14
31	10500	28,4	14
32	10750	28,4	14
33	11000	28,4	14
34	11250	28,4	14
35	11500	28,4	14
36	11750	28,4	14

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Al seleccionar 20 AMP, en la Figura 3.39 se observa cómo se estabiliza el voltaje a partir de las 5500 RPM, mientras la corriente permanece constante a desde 7750 RPM, como se indica en la Figura 3.40. Los valores de corriente y voltaje registrados se muestran en la

Tabla 3.8.

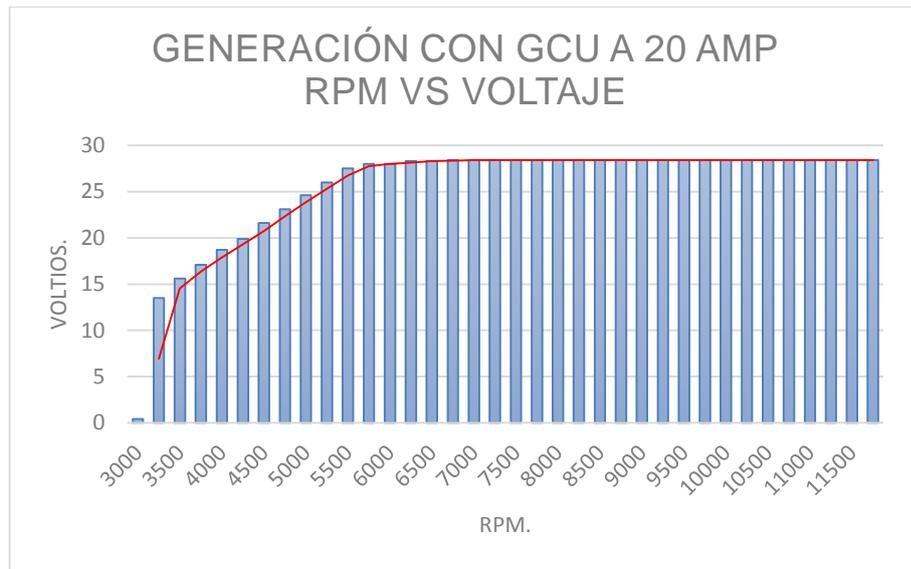


Figura 3.39. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 20 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

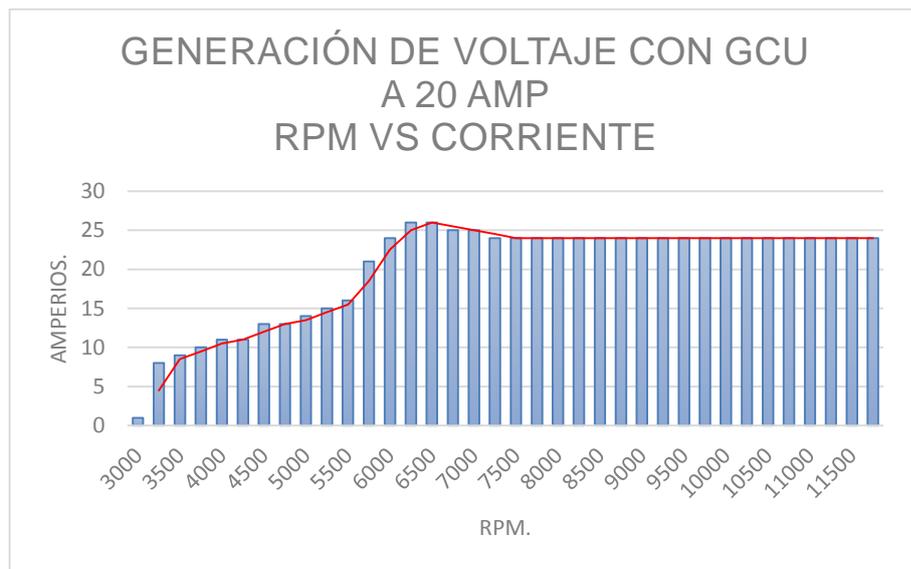


Figura 3.40. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 20 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.8. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 20 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 20 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,4	1
2	3250	13,5	8
3	3500	15,6	9
4	3750	17,1	10
5	4000	18,7	11
6	4250	19,9	11
7	4500	21,6	13
8	4750	23,1	13
9	5000	24,6	14
10	5250	26	15
11	5500	27,5	16
12	5750	28	21
13	6000	28	24
14	6250	28,3	26
15	6500	28,3	26
16	6750	28,4	25
17	7000	28,4	25
18	7250	28,4	24
19	7500	28,4	24
20	7750	28,4	24
21	8000	28,4	24
22	8250	28,4	24
23	8500	28,4	24
24	8750	28,4	24
25	9000	28,4	24
26	9250	28,4	24
27	9500	28,4	24
28	9750	28,4	24
29	10000	28,4	24
30	10250	28,4	24
31	10500	28,4	24
32	10750	28,4	24
33	11000	28,4	24
34	11250	28,4	24
35	11500	28,4	24
36	11750	28,4	24

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

El generador a partir de las 5750 RPM suministra un voltaje constante de 28 voltios, como se muestra en la Figura 3.41, y la corriente permanece estable a partir de las 7000 RPM al activar la carga 30 AMP, obsérvese la Figura 3.42. En la Tabla 3.9, se encuentran los valores de corriente y voltaje registrados al activar la carga de 30 AMP.

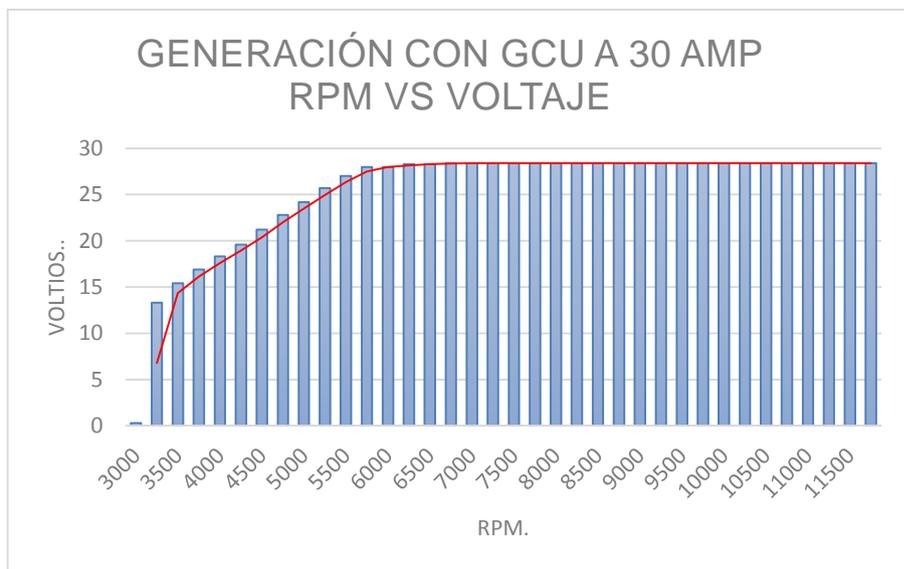


Figura 3.41. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 30 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

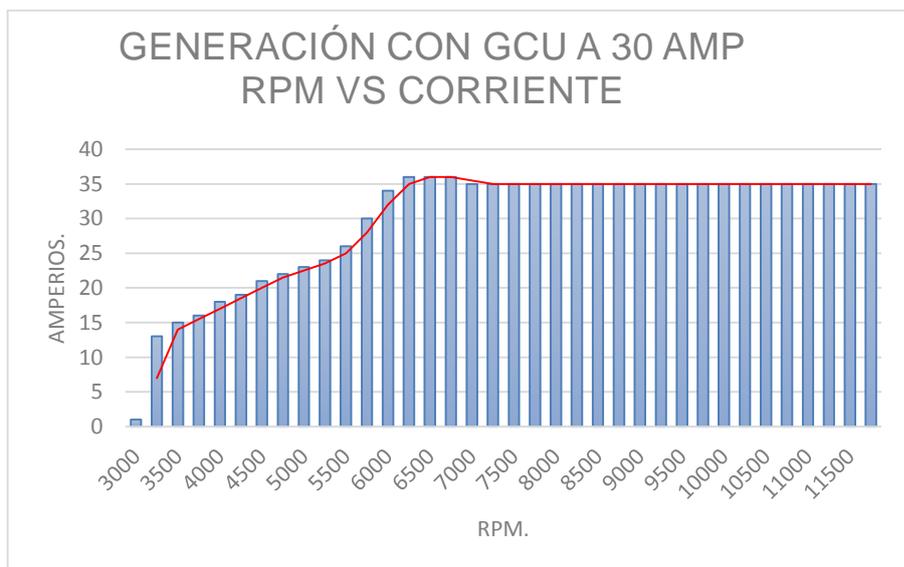


Figura 3.42. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 30 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.9. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 30 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 30 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,3	1
2	3250	13,3	13
3	3500	15,4	15
4	3750	16,9	16
5	4000	18,3	18
6	4250	19,6	19
7	4500	21,2	21
8	4750	22,8	22
9	5000	24,2	23
10	5250	25,7	24
11	5500	27	26
12	5750	28	30
13	6000	28	34
14	6250	28,3	36
15	6500	28,3	36
16	6750	28,4	36
17	7000	28,4	35
18	7250	28,4	35
19	7500	28,4	35
20	7750	28,4	35
21	8000	28,4	35
22	8250	28,4	35
23	8500	28,4	35
24	8750	28,4	35
25	9000	28,4	35
26	9250	28,4	35
27	9500	28,4	35
28	9750	28,4	35
29	10000	28,4	35
30	10250	28,4	35
31	10500	28,4	35
32	10750	28,4	35
33	11000	28,4	35
34	11250	28,4	35
35	11500	28,4	35
36	11750	28,4	35

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Al activar la carga 30 AMP, el generador desde 5750 RPM entrega un voltaje constante de 28 voltios, como se muestra en la Figura 3.43, y la corriente permanece estable a partir de las 7000 RPM, como se ilustra en la Figura 3.44. Los valores medidos al activar una carga de 40 AMP, se encuentran registrados en la Tabla 3.10.

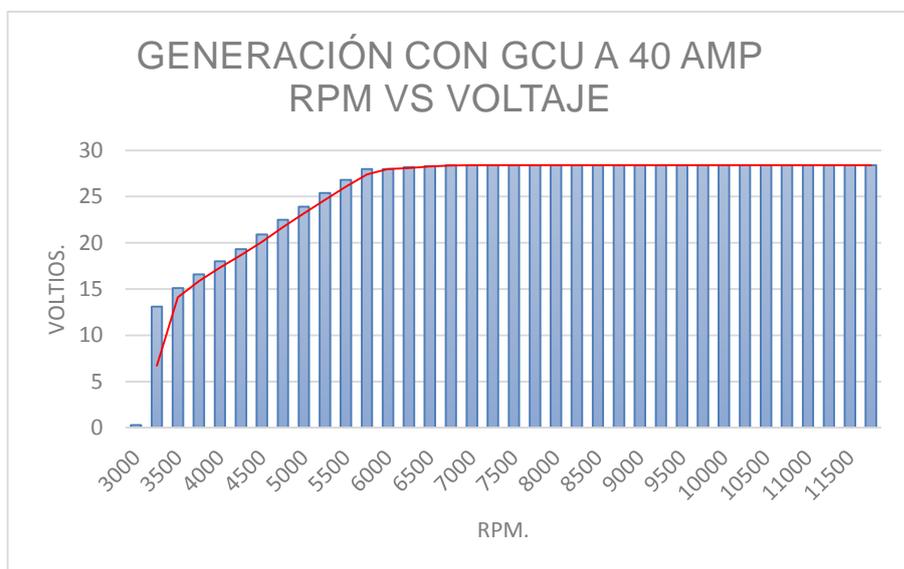


Figura 3.43. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 40 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

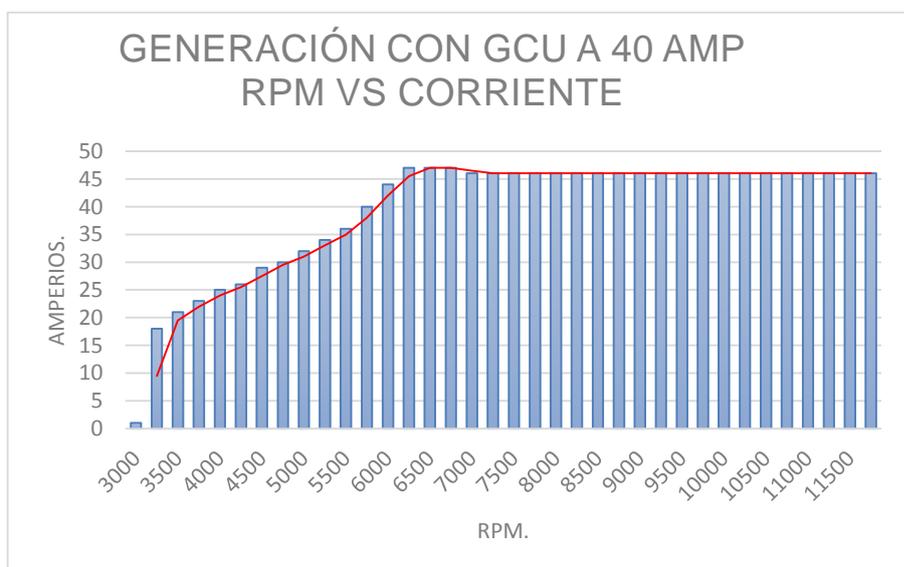


Figura 3.44. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 40 amperios

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.10. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 40 AMP.

GENERACIÓN DE CON GCU A 40 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,3	1
2	3250	13,1	18
3	3500	15,1	21
4	3750	16,6	23
5	4000	18	25
6	4250	19,3	26
7	4500	20,9	29
8	4750	22,5	30
9	5000	23,9	32
10	5250	25,4	34
11	5500	26,8	36
12	5750	28	40
13	6000	28	44
14	6250	28,2	47
15	6500	28,3	47
16	6750	28,4	47
17	7000	28,4	46
18	7250	28,4	46
19	7500	28,4	46
20	7750	28,4	46
21	8000	28,4	46
22	8250	28,4	46
23	8500	28,4	46
24	8750	28,4	46
25	9000	28,4	46
26	9250	28,4	46
27	9500	28,4	46
28	9750	28,4	46
29	10000	28,4	46
30	10250	28,4	46
31	10500	28,4	46
32	10750	28,4	46
33	11000	28,4	46
34	11250	28,4	46
35	11500	28,4	46
36	11750	28,4	46

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Al seleccionar 50 AMP, en la Figura 3.45 se observa cómo se estabiliza el voltaje a partir de las 5750 RPM, mientras la corriente permanece constante a partir de las 7750 RPM, como se indica en la Figura 3.46. Los valores de corriente y voltaje registrados al activar las cargas a 50 AMP se muestran en la Tabla 3.11.

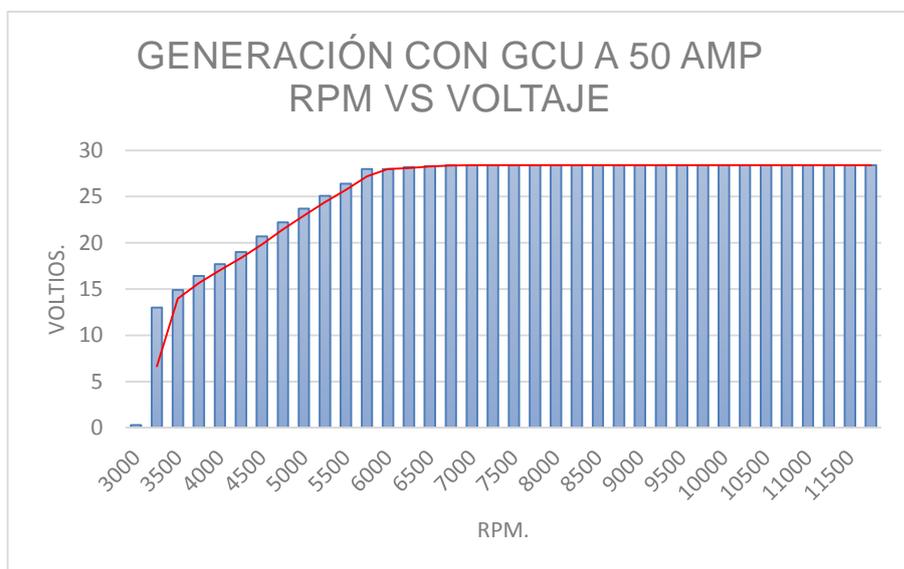


Figura 3.45. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 50 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

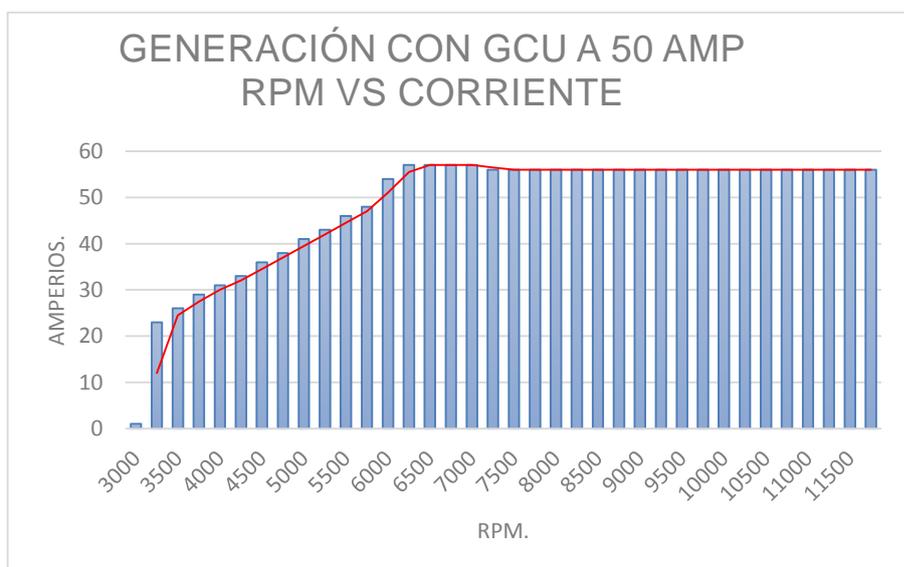


Figura 3.46. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 50 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.11. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 50 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 50 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,3	1
2	3250	13	23
3	3500	14,9	26
4	3750	16,4	29
5	4000	17,7	31
6	4250	19	33
7	4500	20,7	36
8	4750	22,2	38
9	5000	23,7	41
10	5250	25,1	43
11	5500	26,4	46
12	5750	28	48
13	6000	28	54
14	6250	28,2	57
15	6500	28,3	57
16	6750	28,4	57
17	7000	28,4	57
18	7250	28,4	56
19	7500	28,4	56
20	7750	28,4	56
21	8000	28,4	56
22	8250	28,4	56
23	8500	28,4	56
24	8750	28,4	56
25	9000	28,4	56
26	9250	28,4	56
27	9500	28,4	56
28	9750	28,4	56
29	10000	28,4	56
30	10250	28,4	56
31	10500	28,4	56
32	10750	28,4	56
33	11000	28,4	56
34	11250	28,4	56
35	11500	28,4	56
36	11750	28,4	56

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Al activar la carga 60 AMP, el generador desde 6000 RPM entrega un voltaje estable, como se muestra en la Figura 3.47, y la corriente permanece constante a partir de las 7250 RPM, obsérvese la Figura 3.48.

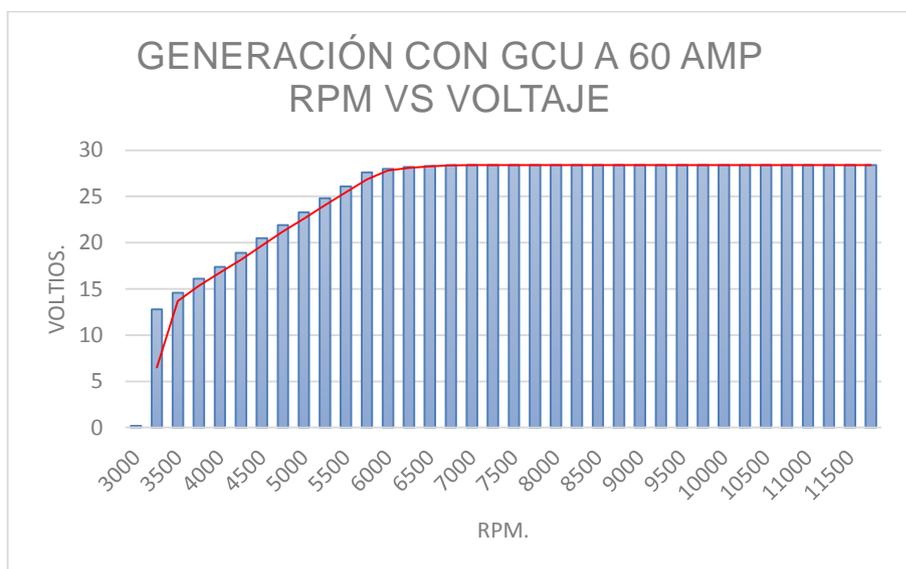


Figura 3.47. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 60 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

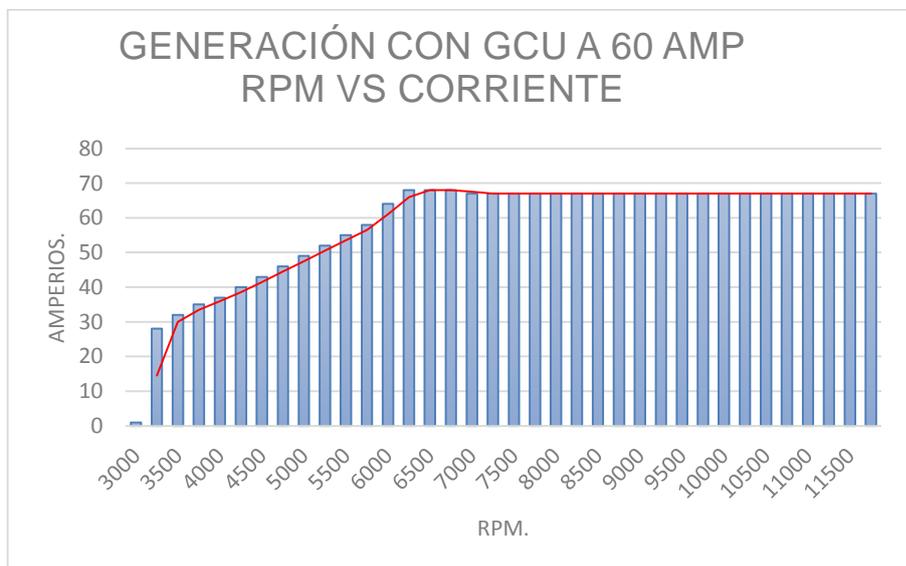


Figura 3.48. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 60 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

En la Tabla 3.12, se encuentran registrados los valores de corriente y voltaje al activar 60 AMP de carga.

Tabla 3.12. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 60 AMP.

GENERACIÓN DE CON GCU A 60 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,2	1
2	3250	12,8	28
3	3500	14,6	32
4	3750	16,1	35
5	4000	17,4	37
6	4250	18,9	40
7	4500	20,5	43
8	4750	21,9	46
9	5000	23,3	49
10	5250	24,8	52
11	5500	26,1	55
12	5750	27,6	58
13	6000	28	64
14	6250	28,2	68
15	6500	28,3	68
16	6750	28,4	68
17	7000	28,4	67
18	7250	28,4	67
19	7500	28,4	67
20	7750	28,4	67
21	8000	28,4	67
22	8250	28,4	67
23	8500	28,4	67
24	8750	28,4	67
25	9000	28,4	67
26	9250	28,4	67
27	9500	28,4	67
28	9750	28,4	67
29	10000	28,4	67
30	10250	28,4	67
31	10500	28,4	67
32	10750	28,4	67
33	11000	28,4	67
34	11250	28,4	67
35	11500	28,4	67
36	11750	28,4	67

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

El generador a partir de las 6000 RPM suministra un voltaje estable como se muestra la Figura 3.49, mientras en la Figura 3.50 se observa que la corriente es aceptable a partir de las 6250 RPM.

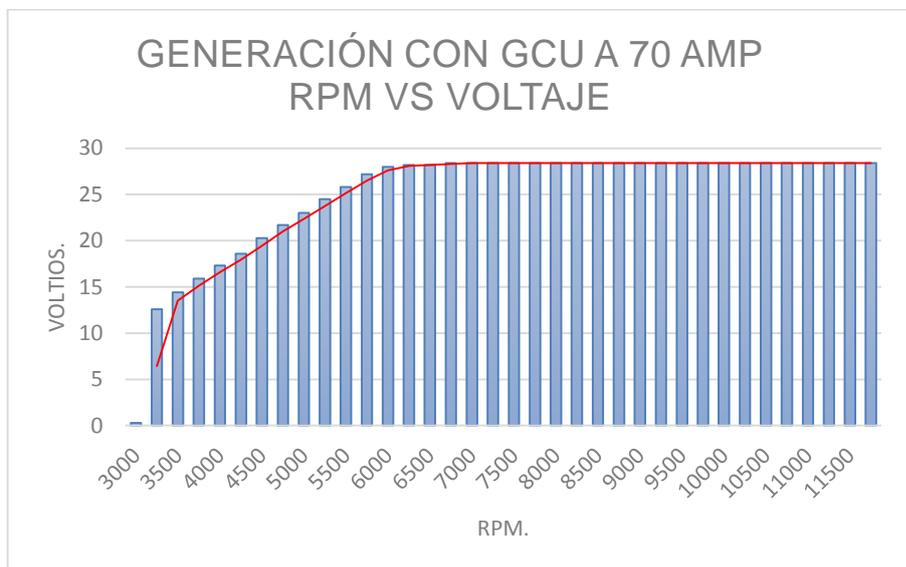


Figura 3.49. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 70 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

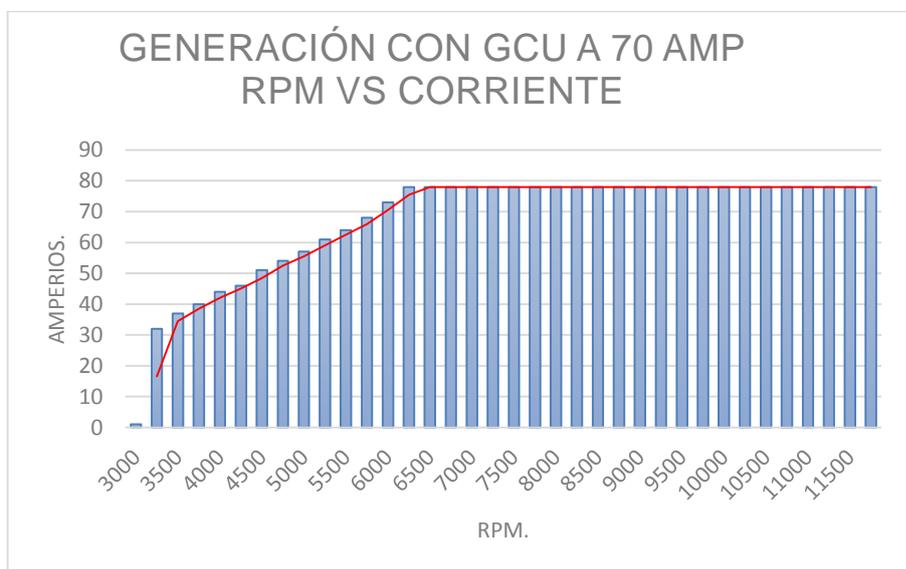


Figura 3.50. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 70 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Los datos registrados al activar la carga de 70 AMP se indican en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 70 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 70 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,3	1
2	3250	12,6	32
3	3500	14,4	37
4	3750	15,9	40
5	4000	17,3	44
6	4250	18,6	46
7	4500	20,3	51
8	4750	21,7	54
9	5000	23	57
10	5250	24,5	61
11	5500	25,8	64
12	5750	27,2	68
13	6000	28	73
14	6250	28,2	78
15	6500	28,2	78
16	6750	28,4	78
17	7000	28,4	78
18	7250	28,4	78
19	7500	28,4	78
20	7750	28,4	78
21	8000	28,4	78
22	8250	28,4	78
23	8500	28,4	78
24	8750	28,4	78
25	9000	28,4	78
26	9250	28,4	78
27	9500	28,4	78
28	9750	28,4	78
29	10000	28,4	78
30	10250	28,4	78
31	10500	28,4	78
32	10750	28,4	78
33	11000	28,4	78
34	11250	28,4	78
35	11500	28,4	78
36	11750	28,4	78

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Al estar activado 80 AMP de carga, el generador a 6250 RPM el voltaje suministrado se estabiliza como se visualiza en la Figura 3.51, desde las 7000 RPM la corriente es constante, como se puede observar en la Figura 3.52.

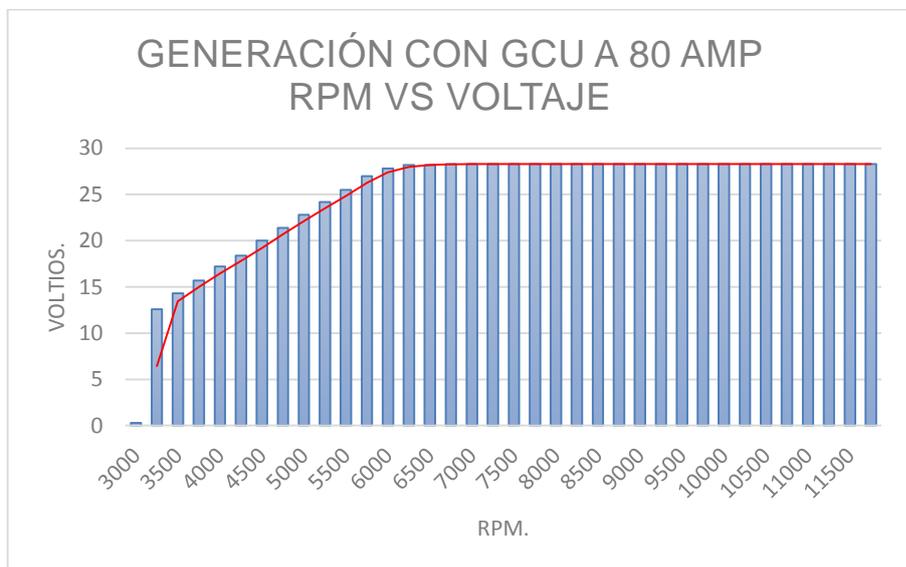


Figura 3.51. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 80 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

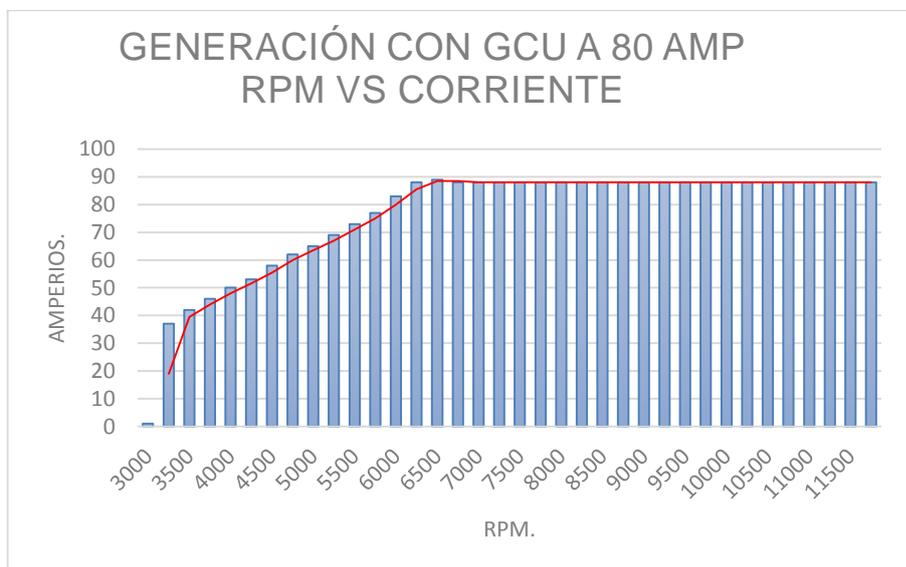


Figura 3.52. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 80 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Los datos medidos en el banco al realizar la prueba de generación con carga de 80 AMP, se encuentran registrados en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 80 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 80 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,3	1
2	3250	12,6	37
3	3500	14,3	42
4	3750	15,7	46
5	4000	17,2	50
6	4250	18,4	53
7	4500	20	58
8	4750	21,4	62
9	5000	22,8	65
10	5250	24,2	69
11	5500	25,5	73
12	5750	27	77
13	6000	27,8	83
14	6250	28,2	88
15	6500	28,2	89
16	6750	28,3	88
17	7000	28,3	88
18	7250	28,3	88
19	7500	28,3	88
20	7750	28,3	88
21	8000	28,3	88
22	8250	28,3	88
23	8500	28,3	88
24	8750	28,3	88
25	9000	28,3	88
26	9250	28,3	88
27	9500	28,3	88
28	9750	28,3	88
29	10000	28,3	88
30	10250	28,3	88
31	10500	28,3	88
32	10750	28,3	88
33	11000	28,3	88
34	11250	28,3	88
35	11500	28,3	88
36	11750	28,3	88

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Al seleccionar 90 AMP, en la Figura 3.53 se observa cómo se estabiliza el voltaje a partir de las 6000 RPM, mientras la corriente permanece constante a partir de las 6500 RPM, como se indica en la Figura 3.54.

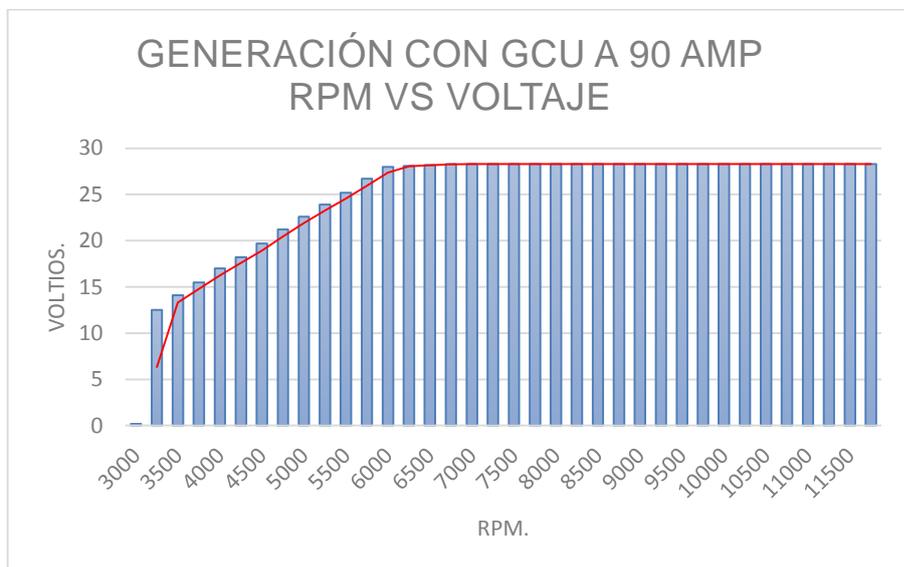


Figura 3.53. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 90 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

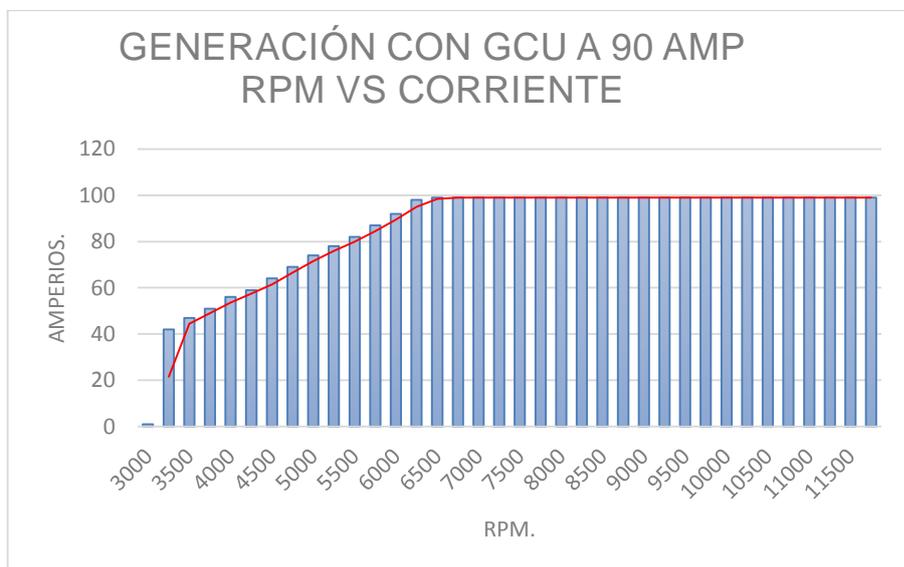


Figura 3.54. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 90 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Los valores registrados al activar la carga de 90 AMP en la prueba de generación se indican en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 90 AMP.

GENERACIÓN CON SIN GCU A 90 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,2	1
2	3250	12,5	42
3	3500	14,1	47
4	3750	15,5	51
5	4000	17	56
6	4250	18,2	59
7	4500	19,7	64
8	4750	21,2	69
9	5000	22,6	74
10	5250	23,9	78
11	5500	25,2	82
12	5750	26,7	87
13	6000	28	92
14	6250	28,1	98
15	6500	28,2	99
16	6750	28,3	99
17	7000	28,3	99
18	7250	28,3	99
19	7500	28,3	99
20	7750	28,3	99
21	8000	28,3	99
22	8250	28,3	99
23	8500	28,3	99
24	8750	28,3	99
25	9000	28,3	99
26	9250	28,3	99
27	9500	28,3	99
28	9750	28,3	99
29	10000	28,3	99
30	10250	28,3	99
31	10500	28,3	99
32	10750	28,3	99
33	11000	28,3	99
34	11250	28,3	99
35	11500	28,3	99
36	11750	28,3	99

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

La Figura 3.55 muestra la gráfica de voltaje con una carga de 100 AMP respecto a las revoluciones en la que se dio la prueba de generación. La Figura 3.56 representa gráficamente los valores de corriente y RPM de dicha prueba. Se debe recalcar que el generador entregó un voltaje de 28 voltios y una corriente de 109 amperios estable desde las 6250 RPM. La Tabla 3.16 registra los valores de voltaje y corriente adquiridos durante la prueba de generación en el banco de pruebas.

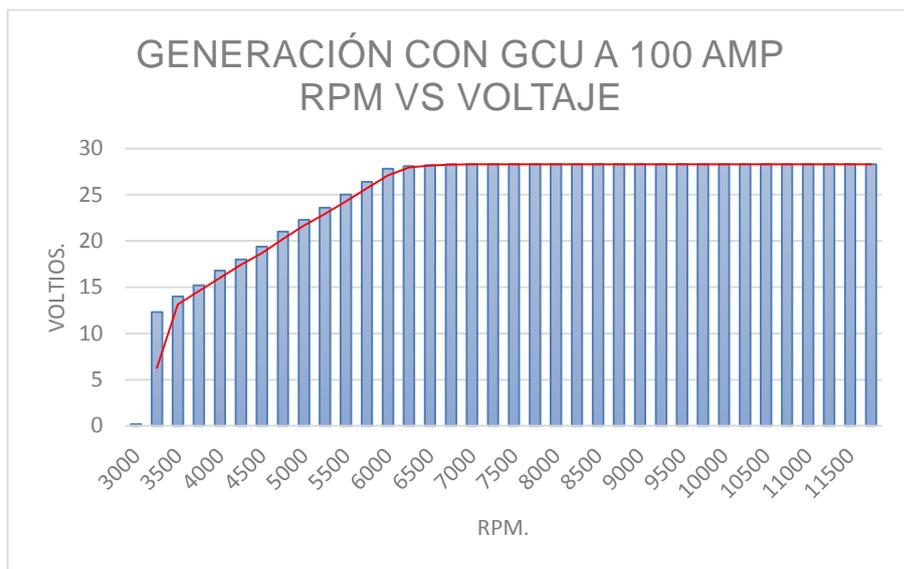


Figura 3.55. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 100 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

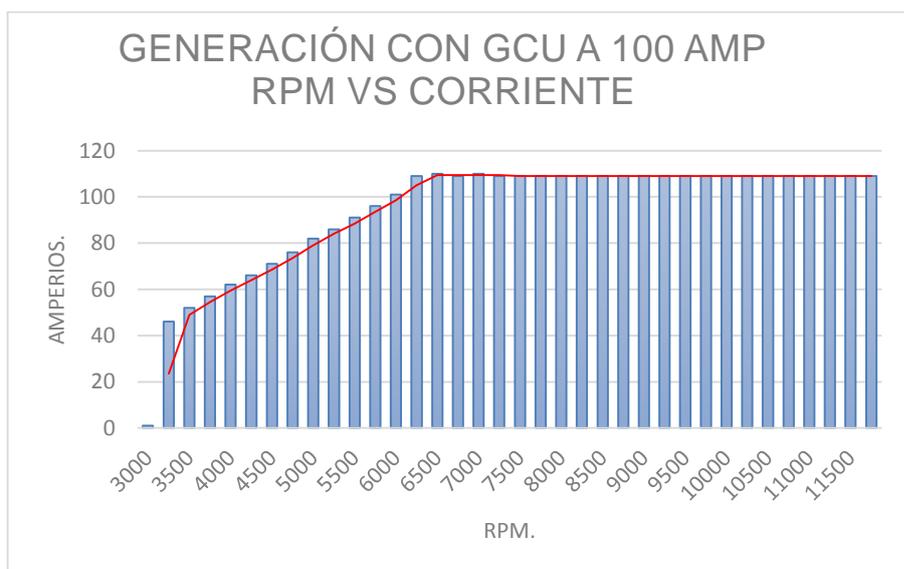


Figura 3.56. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 100 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.16. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 100 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 100 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,2	1
2	3250	12,3	46
3	3500	14	52
4	3750	15,2	57
5	4000	16,8	62
6	4250	18	66
7	4500	19,4	71
8	4750	21	76
9	5000	22,3	82
10	5250	23,6	86
11	5500	25	91
12	5750	26,4	96
13	6000	27,8	101
14	6250	28,1	109
15	6500	28,2	110
16	6750	28,3	109
17	7000	28,3	110
18	7250	28,3	109
19	7500	28,3	109
20	7750	28,3	109
21	8000	28,3	109
22	8250	28,3	109
23	8500	28,3	109
24	8750	28,3	109
25	9000	28,3	109
26	9250	28,3	109
27	9500	28,3	109
28	9750	28,3	109
29	10000	28,3	109
30	10250	28,3	109
31	10500	28,3	109
32	10750	28,3	109
33	11000	28,3	109
34	11250	28,3	109
35	11500	28,3	109
36	11750	28,3	109

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Al estar activado 150 AMP de carga, el generador a 6500 RPM el voltaje se estabiliza como se visualiza en la Figura 3.57, desde las 6500 RPM la corriente es constante, como se puede observar en la Figura 3.58

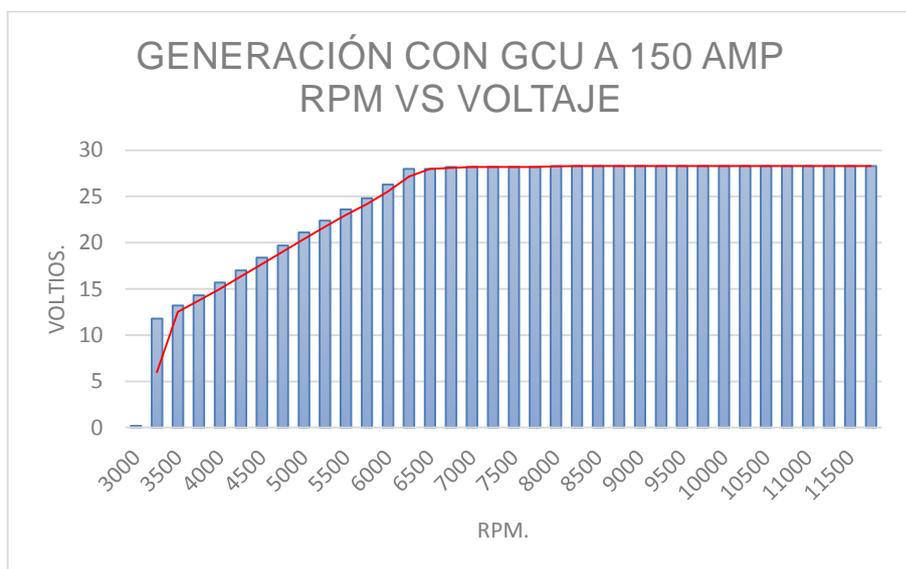


Figura 3.57. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 150 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

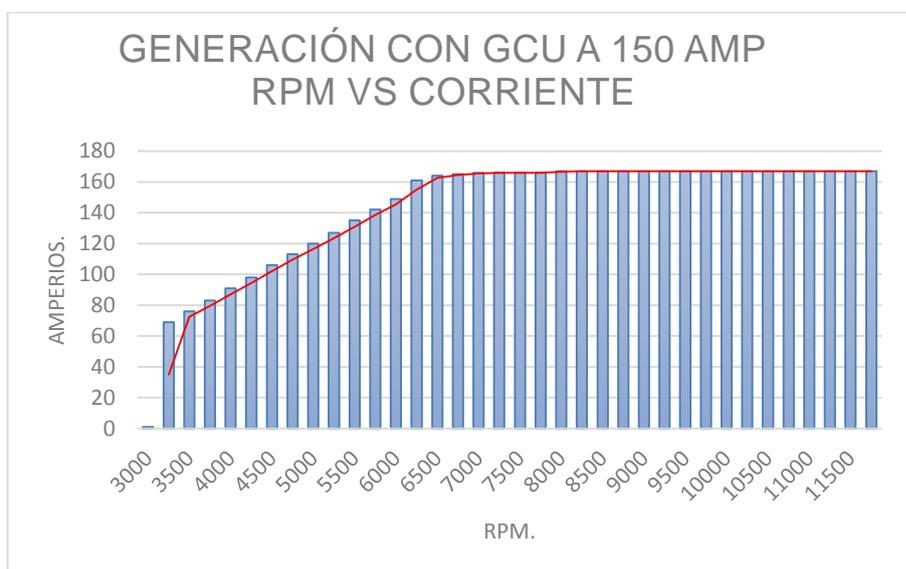


Figura 3.58. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 150 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

. Las muestras para las gráficas se encuentran en la Tabla 3.17 tomadas durante las pruebas de generación.

Tabla 3.17. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 150 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 150 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,2	1
2	3250	11,8	69
3	3500	13,2	76
4	3750	14,3	83
5	4000	15,7	91
6	4250	17	98
7	4500	18,4	106
8	4750	19,7	113
9	5000	21,1	120
10	5250	22,4	127
11	5500	23,6	135
12	5750	24,8	142
13	6000	26,3	149
14	6250	28	161
15	6500	28	164
16	6750	28,2	165
17	7000	28,2	166
18	7250	28,2	166
19	7500	28,2	166
20	7750	28,2	166
21	8000	28,3	167
22	8250	28,3	167
23	8500	28,3	167
24	8750	28,3	167
25	9000	28,3	167
26	9250	28,3	167
27	9500	28,3	167
28	9750	28,3	167
29	10000	28,3	167
30	10250	28,3	167
31	10500	28,3	167
32	10750	28,3	167
33	11000	28,3	167
34	11250	28,3	167
35	11500	28,3	167
36	11750	28,3	167

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

La Figura 3.59 presenta una curva que se estabiliza en 28 voltios a las 6500 revoluciones, la curva de corriente se visualiza en la Figura 3.60 la misma que toma valores estables desde las 6750 RPM

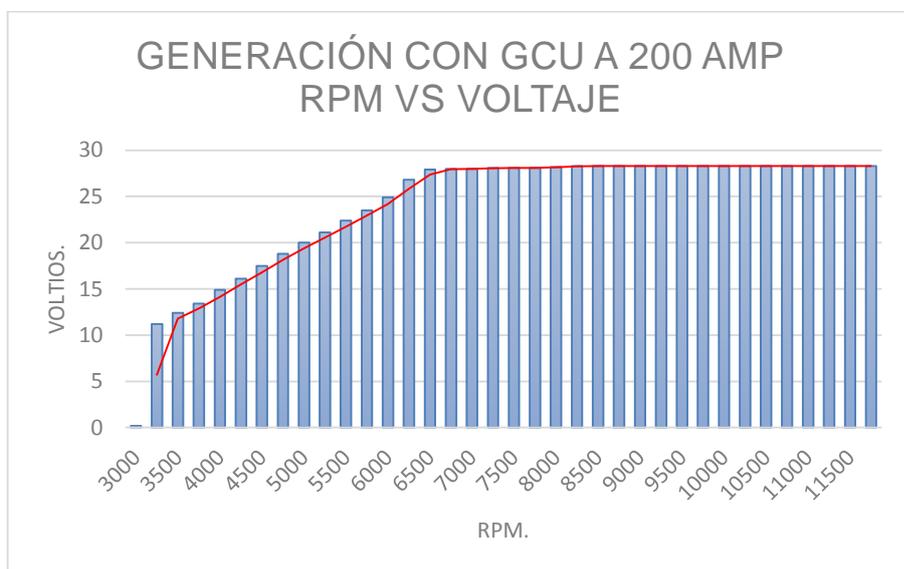


Figura 3.59. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 200 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

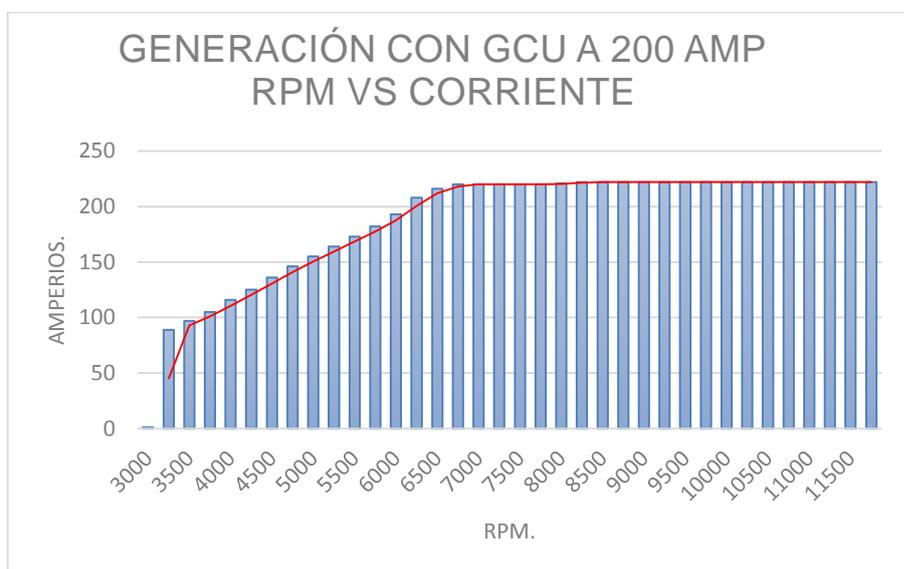


Figura 3.60. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 200 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

. La Tabla 3.18 recopila todos los valores obtenidos de la prueba de generación con una carga de 200 amperios a diferentes revoluciones.

Tabla 3.18. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 200 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 200 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,2	1
2	3250	11,2	89
3	3500	12,4	97
4	3750	13,4	105
5	4000	14,9	116
6	4250	16,1	125
7	4500	17,5	136
8	4750	18,8	146
9	5000	20	155
10	5250	21,1	164
11	5500	22,4	173
12	5750	23,5	182
13	6000	24,9	193
14	6250	26,8	208
15	6500	27,9	216
16	6750	28	220
17	7000	28	220
18	7250	28,1	220
19	7500	28,1	220
20	7750	28,1	220
21	8000	28,2	221
22	8250	28,3	222
23	8500	28,3	222
24	8750	28,3	222
25	9000	28,3	222
26	9250	28,3	222
27	9500	28,3	222
28	9750	28,3	222
29	10000	28,3	222
30	10250	28,3	222
31	10500	28,3	222
32	10750	28,3	222
33	11000	28,3	222
34	11250	28,3	222
35	11500	28,3	222
36	11750	28,3	222

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

La prueba de generación con una carga de 250 AMP presenta una curva de los valores de voltaje que se muestra en la Figura 3.61 y una curva de los valores de corriente como se presenta en la Figura 3.62, se estabiliza tanto para corriente como para voltaje a 7000 RPM. Los valores de la prueba se encuentran registrados en la Tabla 3.19.

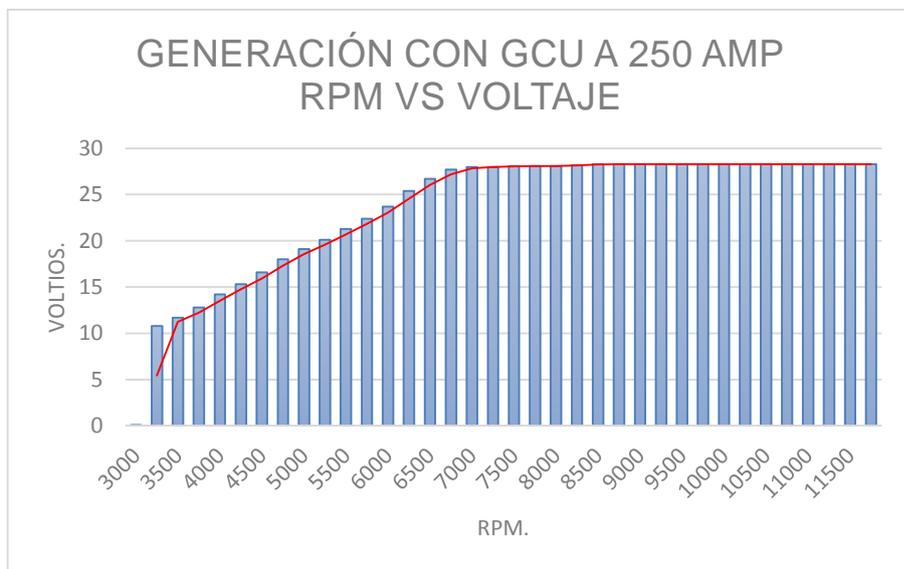


Figura 3.61. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 250 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

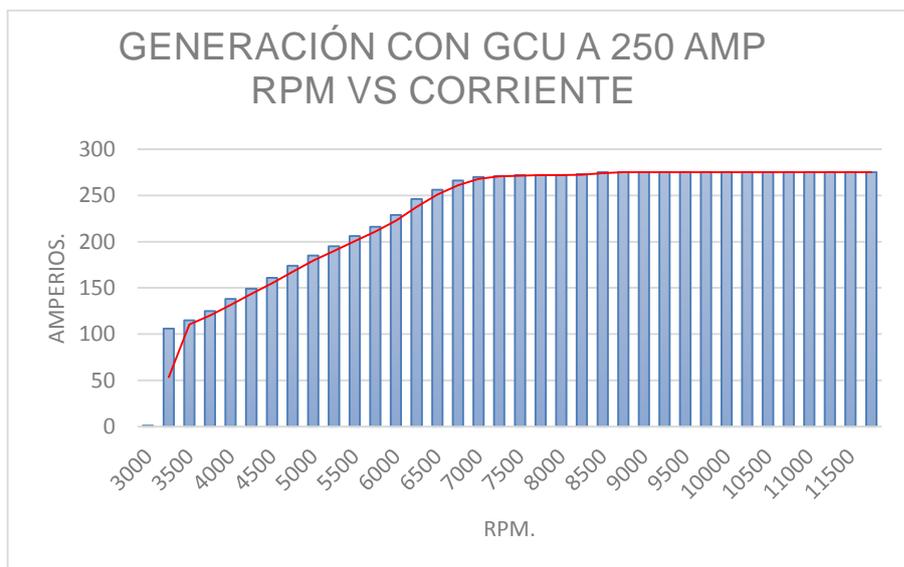


Figura 3.62. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 250 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.19. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 250 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 250 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,1	1
2	3250	10,8	106
3	3500	11,7	115
4	3750	12,8	125
5	4000	14,2	138
6	4250	15,3	149
7	4500	16,6	161
8	4750	18	174
9	5000	19,1	185
10	5250	20,1	195
11	5500	21,3	206
12	5750	22,4	216
13	6000	23,7	229
14	6250	25,4	246
15	6500	26,7	256
16	6750	27,7	266
17	7000	28	270
18	7250	28	271
19	7500	28,1	272
20	7750	28,1	272
21	8000	28,1	272
22	8250	28,2	273
23	8500	28,3	275
24	8750	28,3	275
25	9000	28,3	275
26	9250	28,3	275
27	9500	28,3	275
28	9750	28,3	275
29	10000	28,3	275
30	10250	28,3	275
31	10500	28,3	275
32	10750	28,3	275
33	11000	28,3	275
34	11250	28,3	275
35	11500	28,3	275
36	11750	28,3	275

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

La Figura 3.63 representa mediante una gráfica el comportamiento del generador con una carga de 300 AMP, desde 7000 RPM el voltaje se estabiliza a 28 voltios. La Figura 3.63 representa la corriente, la misma que se permanece estable a las mismas revoluciones que el voltaje. La

Tabla 3.20 presenta todos los datos obtenidos durante la prueba realizada.

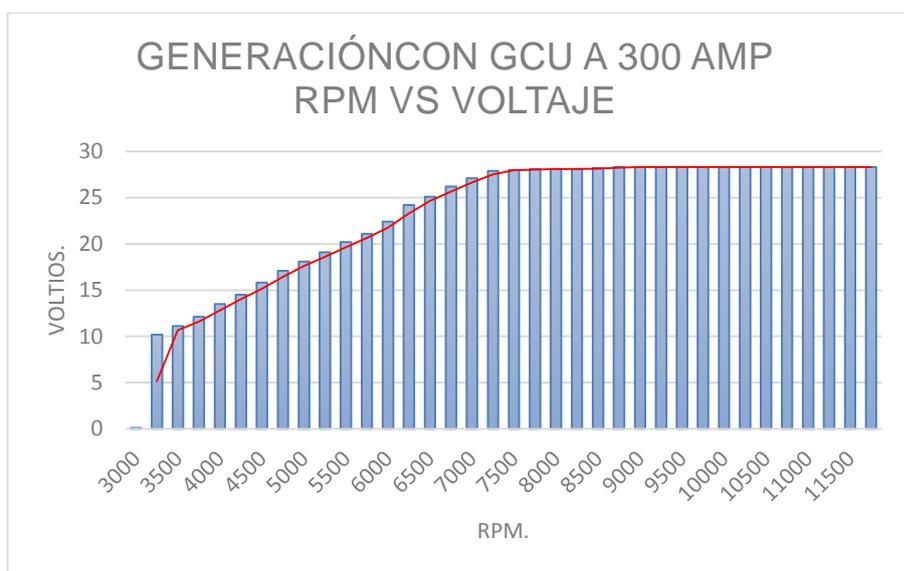


Figura 3.63. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 300 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

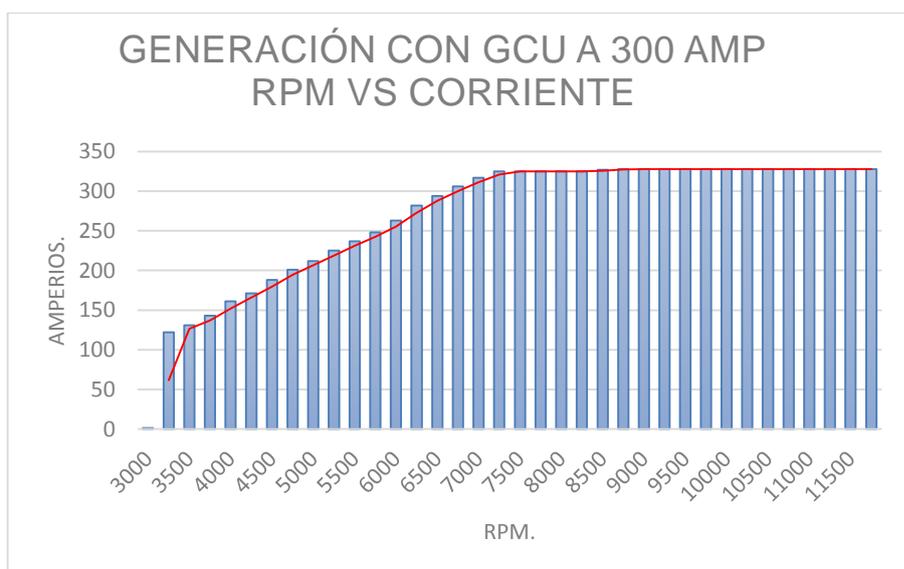


Figura 3.64. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 300 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.20.Resultados de la generación de voltaje y corriente a 300 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 300 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,1	1
2	3250	10,2	122
3	3500	11,1	131
4	3750	12,1	143
5	4000	13,5	161
6	4250	14,5	171
7	4500	15,8	188
8	4750	17,1	201
9	5000	18,1	212
10	5250	19,1	225
11	5500	20,2	237
12	5750	21,1	248
13	6000	22,4	263
14	6250	24,2	282
15	6500	25,1	294
16	6750	26,2	306
17	7000	27,1	317
18	7250	27,9	325
19	7500	28	325
20	7750	28,1	325
21	8000	28,1	325
22	8250	28,1	325
23	8500	28,2	327
24	8750	28,3	328
25	9000	28,3	328
26	9250	28,3	328
27	9500	28,3	328
28	9750	28,3	328
29	10000	28,3	328
30	10250	28,3	328
31	10500	28,3	328
32	10750	28,3	328
33	11000	28,3	328
34	11250	28,3	328
35	11500	28,3	328
36	11750	28,3	328

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

La Figura 3.65 presenta gráficamente del voltaje, el mismo que se establecerse en 28 voltios a las 7500 RPM. En la Figura 3.66 se indica la curva resultante de la corriente cuyo valor se estabiliza al igual que el voltaje a las 7500 RPM. La Tabla 3.21 registra los valores de muestras tomadas durante la prueba de generación para corriente y voltaje.

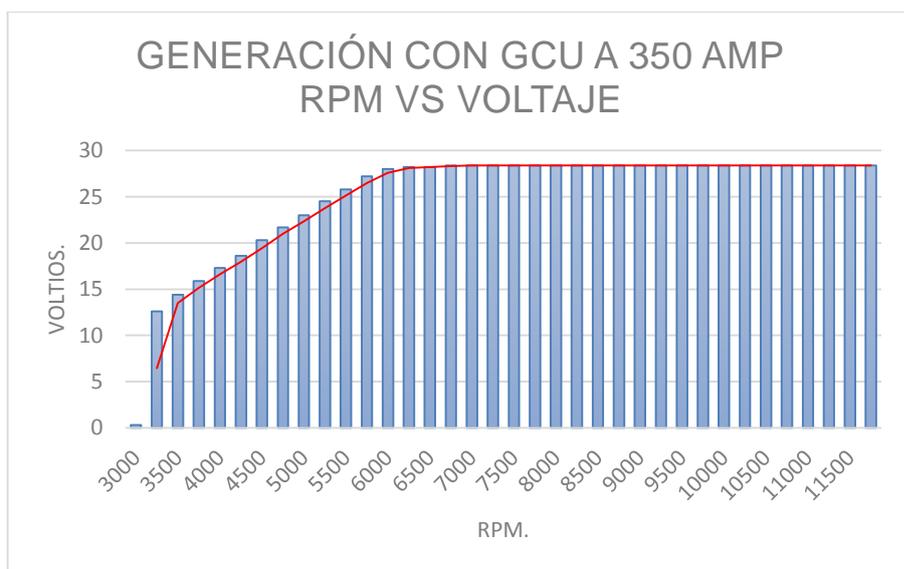


Figura 3.65. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 350 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

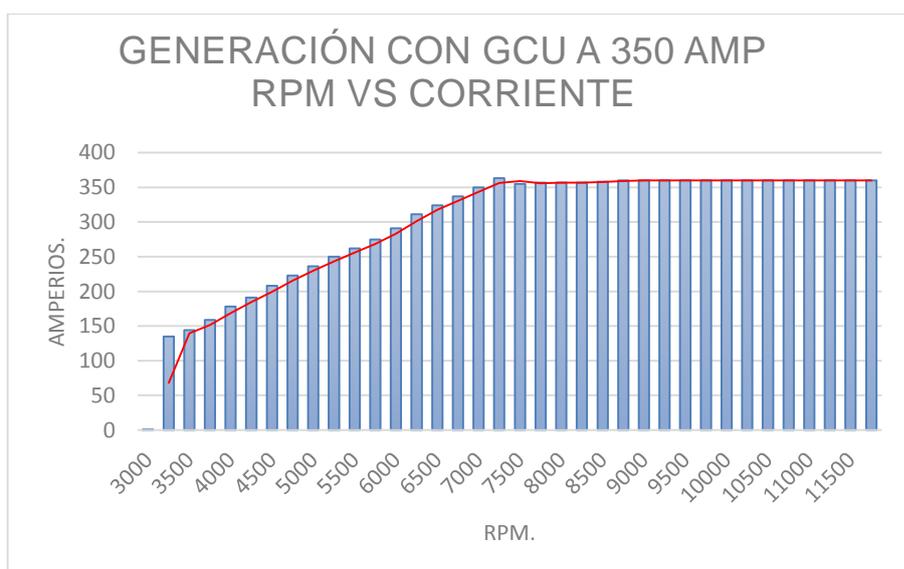


Figura 3.66. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 350 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.21. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 350 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 350 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,1	1
2	3250	9,6	135
3	3500	10,4	144
4	3750	11,5	159
5	4000	12,9	178
6	4250	13,9	191
7	4500	15,2	208
8	4750	16,2	223
9	5000	17,2	236
10	5250	18,2	250
11	5500	19,2	262
12	5750	20	275
13	6000	21,3	291
14	6250	22,8	311
15	6500	23,8	324
16	6750	24,8	337
17	7000	25,7	350
18	7250	26,8	363
19	7500	27,9	355
20	7750	28,1	357
21	8000	28,1	357
22	8250	28,1	357
23	8500	28,2	358
24	8750	28,3	360
25	9000	28,3	360
26	9250	28,3	360
27	9500	28,3	360
28	9750	28,3	360
29	10000	28,3	360
30	10250	28,3	360
31	10500	28,3	360
32	10750	28,3	360
33	11000	28,3	360
34	11250	28,3	360
35	11500	28,3	360
36	11750	28,3	360

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

La aeronave consume hasta 400 amperios, es por eso que el banco de pruebas simula como máximo ese valor de corriente, las curvas de comportamiento de voltaje y corriente se visualizan en la Figura 3.67 y Figura 3.68 respectivamente. Los parámetros se establecen a las 8250 RPM con lo que se sabe que el generador funciona correctamente. Los valores tomados durante la prueba se encuentran en la Tabla 3.22.

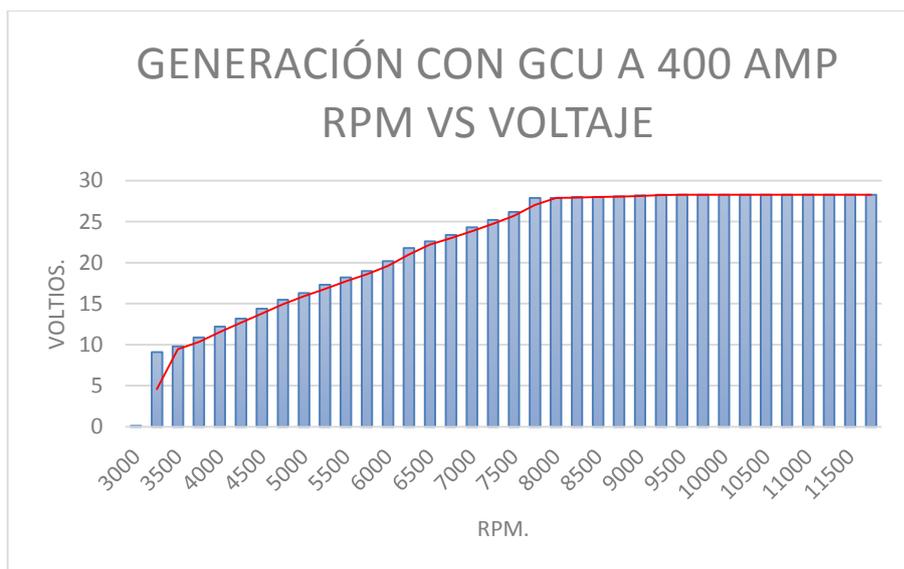


Figura 3.67. Gráfica velocidad vs voltaje con carga de 400 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

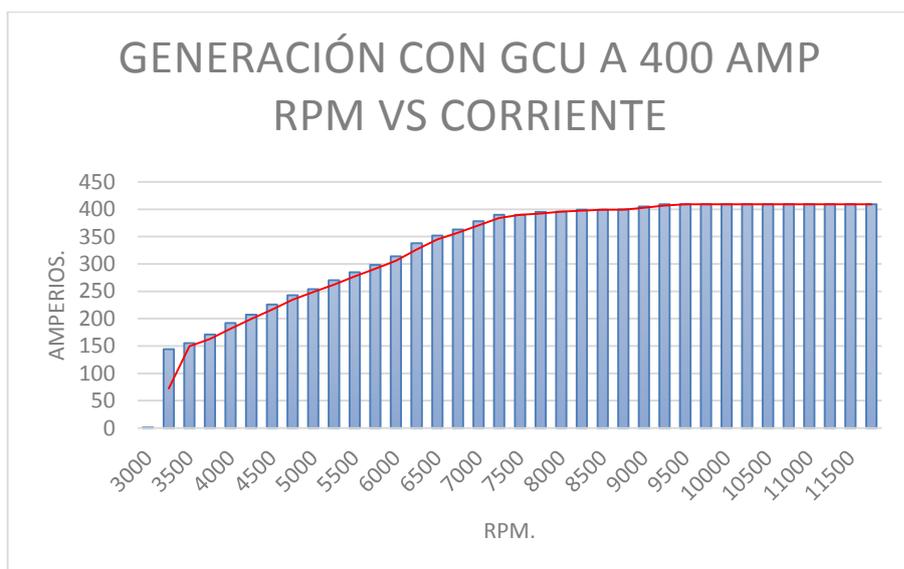


Figura 3.68. Gráfica velocidad vs corriente con carga de 400 amperios.

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

Tabla 3.22. Resultados de la generación de voltaje y corriente a 400 AMP.

GENERACIÓN CON GCU A 400 AMP			
	TACOMETRO	VOLTIMETRO	AMPERIMETRO
1	3000	0,1	1
2	3250	9,1	144
3	3500	9,8	155
4	3750	10,9	171
5	4000	12,2	192
6	4250	13,2	207
7	4500	14,4	226
8	4750	15,5	243
9	5000	16,3	254
10	5250	17,3	270
11	5500	18,2	285
12	5750	19	298
13	6000	20,2	314
14	6250	21,8	338
15	6500	22,6	352
16	6750	23,4	363
17	7000	24,3	378
18	7250	25,2	390
19	7500	26,2	390
20	7750	27,9	395
21	8000	27,9	396
22	8250	28	399
23	8500	28	399
24	8750	28,1	400
25	9000	28,2	405
26	9250	28,3	409
27	9500	28,3	409
28	9750	28,3	409
29	10000	28,3	409
30	10250	28,3	409
31	10500	28,3	409
32	10750	28,3	409
33	11000	28,3	409
34	11250	28,3	409
35	11500	28,3	409
36	11750	28,3	409

Elaborado por: Escobar, A. y Bassante, V.

3.5. 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.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

4.1. Conclusiones

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Para declarar las entradas y salidas se debe asignar a los diversos puertos a memorias internas del OPLC mediante la configuración de Hardware.
6. 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.
7. 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.

8. 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.
9. La implementación del banco de pruebas, permite evaluar las condiciones operativas del generador al ser sometido a varios procedimientos de comprobación y análisis.
10. El diseño modular del banco de pruebas, ayuda al usuario a desmontar y ensamblar fácilmente sus módulos al momento de realizar tareas de mantenimiento.
11. La implementación de una clave de ingreso en el HMI, controla el acceso de usuarios indeseables con el fin de evitar accidentes y el manejo indebido del software.

4.2. Recomendaciones

1. Para la correcta operación del banco, debe existir la señalización adecuada de cada elemento dentro de los módulos, lo que permite un fácil manejo.
2. Se debe realizar una calibración anual de los instrumentos de medición, para garantizar el buen desempeño del banco de pruebas.
3. 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.
4. 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.

5. Es indispensable utilizar cables y conectores de aviación, para las instalaciones eléctricas debido a la precisión, eficiencia y confiabilidad de los equipos utilizados.
6. 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.
7. 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Muñoz, «MANUAL DE VUELO,» [En línea]. Available: <http://www.manualdevuelo.com/ZIPS/MANUAL%20de%20vuelo.pdf>. [Último acceso: 13 Mayo 2014].
- [2] M. A. Muñoz, «mmuñoz@manualdevuelo.com,» [En línea]. Available: <http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF34.html>. [Último acceso: 09 Mayo 2014].
- [3] Direct Industry, «Baterías Ni-Cd,» VirtualCompanyExpo, España, 2014.
- [4] WITH ILLUSTRATED PARTS LIST COMMUNICATIONS., *Manual, C. M., Illustrated, W., & List, P*, New York, 2003.
- [5] De Maquinas y Herramientas, «Amperímetros: Tipos Y Usos,» DMyH, 2012.
- [6] AUTOMATIONDIRECT, *Protección de circuitos / Fusibles / desconecta*, Atlanta, 2014.
- [7] F. Martín, *Nuevo manual de instalaciones eléctricas*, Madrid : ETS Arquitectura, 2003.
- [8] R. Leño, *TEXTO DE ELT 260 MAQUINAS ELECTRICAS DE C.A. I*, La Paz.
- [9] M. Villalobos, *Motores Trifásicos de Inducción*, Chile: Inacap, 2008.
- [10] J. Mora, *Electromagnetismo y circuitos eléctricos*, McGraw-Hill, 2005.
- [11] «e-ducativa.catedu.es,» [En línea]. Available: http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1101/html/3_transmision_por_poleas_y_correas_o_cadenas.html. [Último acceso: 17 Junio 2014].

- [12] F. Martín, *REGULACIÓN DE VELOCIDAD DE MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS*, Alicante: España, 2005.
- [13] WEG, *Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento*, 2010.
- [14] L. Duarte, «Capítulo 30 Fuerza y momentos de torsión en un campo eléctrico,» Awesome.Inc, Mexico, 2012.
- [15] J. Arroyo, «Funcionamiento de un Transformador, Motor Eléctrico y un Generador Electrico.,» Plantilla Travel, 2013.
- [16] Goodrich Corporation Model, DC Starter-Generator, Reino Unido: Manual, 2003.
- [17] Industrial Automation Systems, Vision OPLC Installation Gide, Nueva Inglaterra: Unitronics, 2006.
- [18] Industrial Automation System Unitronics, Vision OPLC User Guide, Nueva Inglaterra: Unitronics, 2004.
- [19] A. Bonada, «Nueva versión del software Visilogic 9.3.1 para OPLCs UNITRONICS VISION,» de *infoPLC Automatización Industrail*, Barcelona, 2011.
- [20] R. Cobo, «aie.cl,» [En línea]. Available: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>. [Último acceso: 15 Julio 2014].
- [21] L. Bonilla, *MANUAL DE PRÁCTICAS PARA LA EXPERIENCIA EDUCATIVA DE AUTOMATIZACION*, Xalapa: FIME UV , 2013.

ANEXOS

CERTIFICACIÓN

Latacunga, Septiembre del 2014

ELABORADO POR:

Escobar Ortiz Andrea Marcela
C.C.1803981461

Bassante Segovia Víctor Santiago
C.C. 0503497992

APROBADO POR:

Ing. Nancy Guerrón.
**DIRECTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICADO POR:

Dr. Rodrigo Vaca
**SECRETARIO ACADÉMICO
UNIDAD ADMISIÓN Y REGISTRO**