

# **Automatización bancos de carga resistivos para pruebas de generadores eléctricos**

Jaime Alberto Arango Giraldo

Asesor

Faver Adrián Amorocho

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería

Ingeniería Electrónica

2025

## **Dedicatoria**

A Dios, por ser mi guía constante, por darme la fortaleza en los momentos difíciles y la sabiduría necesaria para no rendirme.

A mi familia, por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando dudaba, y por ser el pilar que me sostiene.

A mi esposa, por su paciencia, apoyo y compañía inquebrantable durante este camino lleno de retos.

Y a mi hija, mi más grande inspiración, porque cada paso que doy es con la esperanza de dejarle un mejor futuro.

## **Agradecimientos**

Agradezco profundamente a la empresa Energía y Potencia S.A.S., por apoyar mi desarrollo personal y profesional, al confiar en mí y permitirme implementar el proyecto "Automatización de bancos de carga resistivos para pruebas de generadores eléctricos" dentro de su proceso de pruebas.

Un agradecimiento especial al jefe de servicio técnico, Álvaro Durán Sandoval, por creer en esta propuesta y realizar las gestiones necesarias ante la gerencia operativa de la empresa para hacer posible su implementación.

Expreso también mi gratitud al director del proyecto, Faver Adrián Amorocho, por su constante apoyo y guía en la estructuración, sustentación y documentación del proyecto. Al director del curso, Pedro Torres Silva, por su orientación clara sobre los requerimientos necesarios para presentar esta propuesta como opción de grado.

Y al tutor Raúl Bareño Gutiérrez, por su valioso acompañamiento y asesoría en los lineamientos técnicos y metodológicos que permitieron fortalecer la documentación de la propuesta.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

## Resumen

La supervisión y el control de pruebas en generadores eléctricos son procesos fundamentales para evaluar su desempeño y eficiencia operativa. Tradicionalmente, estas pruebas se han realizado de forma manual, lo que puede dar lugar a imprecisiones y errores operativos. Con el avance de las tecnologías de automatización, la implementación de un microcontrolador Arduino Mega, en conjunto con un teclado matricial, una pantalla LCD 20x4 y relés de estado sólido, ha permitido optimizar la gestión y ejecución de estas pruebas.

Este proyecto tiene como propósito automatizar una parte del proceso de pruebas con cargas resistivas en generadores eléctricos de combustión interna mejorando la precisión y eficiencia del proceso. En el sistema creado, la activación de cargas resistivas se llevará a cabo mediante la introducción de una clave en un teclado matricial, la cual asignará la potencia del generador a probar. La pantalla LCD mostrará la potencia del equipo en prueba y el porcentaje de carga al cual está siendo sometido, facilitando la supervisión del proceso. El sistema, controlado por un Arduino Mega, permitirá la activación secuencial de cargas mediante relés de estado sólido en cuatro niveles (25%, 50%, 75% y 100%) con tiempos predefinidos de 2.5 minutos en cada etapa según la norma IEEE Std 115-2019 (Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], 2019), asegurando una evaluación estructurada y precisa del generador.

**Palabras clave:** Generadores eléctricos, Pruebas de carga resistivas, Automatización, Bancos de carga resistivos, Seguridad en las pruebas.

### **Abstract**

The supervision and control of testing in electric generators are essential processes for evaluating their performance and operational efficiency. Traditionally, these tests have been carried out manually, which can lead to inaccuracies and operational errors. With the advancement of automation technologies, the implementation of an Arduino Mega microcontroller, together with a matrix keypad, a 20x4 LCD display, and solid-state relays, has enabled the optimization of the management and execution of these tests.

This project aims to automate part of the resistive load testing process in internal combustion electric generators, improving the precision and efficiency of the procedure. In the system developed, the activation of resistive loads is performed by entering a code on the matrix keypad, which assigns the generator's test power. The LCD screen displays the power of the generator under test and the load percentage it is being subjected to, facilitating process supervision. The system, controlled by an Arduino Mega, allows for the sequential activation of loads through solid-state relays in four levels (25%, 50%, 75%, and 100%) with predefined durations of 2.5 minutes per stage, according to the IEEE Std 115- 2019 (Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], 2019), standard, ensuring a structured and accurate generator evaluation.

**Keywords:** Electric generators, Resistive load testing, Automation, Resistive load banks, Test safety.

## Contenido

Introducción .....	15
Planteamiento del problema.....	18
Justificación .....	20
Objetivos .....	23
Objetivo general.....	23
Objetivos específicos.....	23
Antecedentes .....	25
Marco de referencia.....	27
Marco conceptual.....	27
Automatización de pruebas en generadores eléctricos .....	27
Bancos de carga resistivos y su aplicación en pruebas de generadores.....	28
Microcontrolador Arduino Mega .....	28
Impacto de la automatización en la eficiencia operativa y seguridad.....	29
Automatización con Arduino en entornos académicos y profesionales .....	30
Implementación de Arduino en sistemas físicos automatizados.....	30
Automatización de procesos y optimización energética.....	31
Marco teórico .....	32
Generadores eléctricos.....	32
Tipos de generadores eléctricos .....	34

Según el tipo de corriente generada.....	34
Generadores de Corriente Alterna (AC).....	34
Generadores de Corriente Directa (DC).....	36
Según la fuente de energía primaria.....	36
Generadores térmicos (de combustión interna).....	37
Generadores hidráulicos.....	37
Generadores eólicos.....	37
Generadores solares (fotovoltaicos).....	37
Según su aplicación.....	38
Portátiles.....	38
Estacionarios o industriales.....	39
De respaldo (stand-by).....	39
Sincronizados en paralelo.....	40
Cargas resistivas.....	40
Pruebas de generadores eléctricos.....	42
Prueba con Carga Resistiva.....	43
Prueba con Carga Inductiva.....	43
Prueba con Carga Capacitiva.....	44
Marco normativo.....	45
Pruebas de aceptación.....	46

Pruebas de rutina y mantenimiento .....	47
Pruebas de tipo .....	47
Metodología .....	51
Especificación de las pruebas a realizar .....	51
Diseño e implementación del sistema automatizado .....	52
Fase de prueba y calibración .....	52
Validación del sistema.....	52
Método estadístico para análisis de datos .....	53
Resultados obtenidos .....	54
Especificaciones técnicas de los materiales .....	57
Bancos de carga Simplex Electra .....	64
Especificaciones de requerimientos funcionales .....	68
Diseño Funcional de la Infraestructura de Hardware .....	75
Caracterización de los Dispositivos .....	77
Microcontrolador Arduino Mega 2560.....	77
Teclado Matricial: 4x4.....	77
Pantalla LCD 20x4 con interfaz I2C.....	78
Relés de Estado Sólido. ....	79
Banco de Carga Resistivo.....	79
Alimentación .....	80

Alimentación Microcontrolador .....	80
Alimentación Relés de Estado Sólido.....	80
Alimentación Banco de Carga .....	81
Visualización.....	81
Control.....	82
Protocolo de Comunicación .....	83
Validación del Sistema .....	83
Lógica de Control y Estructura del Código Implementado.....	84
Interior tablero de potencia bancos de carga resistivos.....	98
Panel frontal tablero control bancos de carga resistivos .....	100
Interior tablero control bancos de carga resistivos .....	102
Circuito control en Proteus bancos de carga resistivos .....	104
Análisis de resultados.....	106
Estandarización de procedimientos de prueba.....	106
Validación en condiciones controladas .....	107
Consideraciones Técnicas y de Seguridad .....	107
Entorno de pruebas controlado.....	107
Botón de paro de emergencia (E-STOP).....	108
Aislamiento y puesta a tierra.....	108
Acceso restringido durante las pruebas .....	109

	10
Protocolos de operación segura.....	109
Protección térmica y eléctrica .....	110
Capacitación del personal técnico .....	111
Conexión de cables de potencia.....	112
Verificación de niveles del generador .....	112
Inspección de conexiones .....	113
Evacuación del área de pruebas .....	113
Encendido del sistema de ventilación.....	114
Autenticación del sistema.....	114
Monitoreo continuo de la prueba.....	115
Error porcentual en potencia medida en modo automático y manual.....	116
Porcentaje de mejora en tiempo entre el modo manual y automático.....	116
Análisis de resultados – Pruebas manual vs automática .....	117
Precisión en la potencia medida.....	117
Eficiencia en el tiempo de ejecución .....	117
Recomendaciones .....	119
Propuesta de Optimización y Desarrollo Escalable.....	119
Plan de mejoras a corto plazo.....	119
Plan de mejoras a mediano plazo.....	120
Conclusiones.....	121

Referencias..... 123

## Índice de ilustraciones

<b>Ilustración 1</b> <i>Características Principales Bancos de Carga Resistivos</i> .....	66
<b>Ilustración 2</b> <i>Panel de Potencia Bancos de Carga Resistivos</i> .....	67
<b>Ilustración 3</b> <i>Pruebas de Generador 100 KVA con el 25% de Carga</i> .....	73
<b>Ilustración 4</b> <i>Pruebas de Generador 100 KVA con el 50% de Carga</i> .....	73
<b>Ilustración 5</b> <i>Pruebas de Generador 100 KVA con 75% de Carga</i> .....	74
<b>Ilustración 6</b> <i>Pruebas de Generador 100 KVA con el 100% de Carga</i> .....	74
<b>Ilustración 7</b> <i>Diagrama de Bloques</i> .....	76
<b>Ilustración 8</b> <i>Arduino Mega</i> .....	77
<b>Ilustración 9</b> <i>Teclado Matricial 4x4</i> .....	78
<b>Ilustración 10</b> <i>Pantalla LCD 20x4</i> .....	78
<b>Ilustración 11</b> <i>Relé estado Sólido</i> .....	79
<b>Ilustración 12</b> <i>Resistencias de Potencia</i> .....	80
<b>Ilustración 13</b> <i>Circuito Tablero Potencia Bancos de Carga Resistivos</i> .....	99
<b>Ilustración 14</b> <i>Vista interior tablero Potencia Bancos de Carga Resistivos</i> .....	100
<b>Ilustración 15</b> <i>Panel frontal tablero Control Bancos de Carga Resistivos</i> .....	102
<b>Ilustración 16</b> <i>Interior Tablero de Control Bancos de Carga Resistivos</i> .....	103
<b>Ilustración 17</b> <i>Circuito control en Proteus bancos de Carga Resistivos</i> .....	105
<b>Ilustración 18</b> <i>Capacitación Personal Técnico</i> .....	111

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Procedimiento Pruebas Modo Manual</i> .....	56
<b>Tabla 2</b> <i>Procedimiento Pruebas Modo Automático</i> .....	57
<b>Tabla 3</b> <i>Especificaciones Técnicas Arduino Mega</i> .....	59
<b>Tabla 4</b> <i>Especificaciones Técnicas Pantalla LCD 20x4 I2C</i> .....	60
<b>Tabla 5</b> <i>Especificaciones Técnicas Teclado Matricial 4x4</i> .....	61
<b>Tabla 6</b> <i>Especificaciones Técnicas Relé Estado Solido</i> .....	63
<b>Tabla 7</b> <i>Características Principales Bancos de Carga Resistivos</i> .....	64
<b>Tabla 8</b> <i>Especificaciones de Requerimientos Funcionales Arduino Mega 2560</i> .....	68
<b>Tabla 9</b> <i>Especificaciones de Requerimientos Funcionales Teclado Matricial 4x4</i> .....	69
<b>Tabla 10</b> <i>Especificaciones de Requerimientos Funcionales Pantalla LCD 20x4</i> .....	70
<b>Tabla 11</b> <i>Especificaciones de Requerimientos Funcionales Relés de Estado Solido</i> .....	71
<b>Tabla 12</b> <i>Análisis de Resultados – Pruebas manual vs Automática</i> .....	116
<b>Tabla 13</b> <i>Errores Porcentuales y Mejora En Tiempo por Nivel de Carga</i> .....	116

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1</b> <i>Lista de Chequeo Generador</i> .....	132
<b>Anexo 2</b> <i>Protocolo de Pruebas Generadores</i> .....	133
<b>Anexo 3</b> <i>Claves válidas para Pruebas de Generadores</i> .....	134
<b>Anexo 4</b> <i>Control Asistencia Capacitación Manejo Sistema Automático</i> .....	135

## Introducción

En la industria eléctrica, la verificación del desempeño de los generadores eléctricos de combustión interna mediante pruebas con bancos de carga resistivos es un proceso esencial para garantizar su correcto funcionamiento, confiabilidad y eficiencia energética. Sin embargo, estas pruebas suelen realizarse de forma manual, lo que implica riesgos operativos, mayores tiempos de ejecución y una alta dependencia de la experiencia del operador. En respuesta a esta problemática, surge la necesidad de implementar soluciones automatizadas que mejoren la precisión, seguridad y trazabilidad del proceso.

El presente proyecto de grado se enfoca en el diseño, implementación y validación de un sistema de automatización para pruebas en generadores eléctricos, utilizando un microcontrolador Arduino Mega 2560 como unidad central de procesamiento. El sistema incorpora una interfaz de usuario basada en un teclado matricial y una pantalla LCD 20x4, junto con relés de estado sólido que permiten la activación escalonada de cargas resistivas en niveles del 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad total de la potencia nominal del generador. Esta solución busca optimizar el proceso de pruebas que actualmente se realiza en la empresa Energía y Potencia, mejorando significativamente la eficiencia operativa y reduciendo el margen de error humano.

Este proyecto se desarrolla en concordancia con los lineamientos establecidos por la norma IEEE Std 115-2019, la cual proporciona los métodos estandarizados para la realización de pruebas de aceptación y evaluación de generadores sincrónicos en condiciones de fábrica o en campo. En particular, la norma detalla procedimientos para aplicar cargas de manera controlada, medir parámetros eléctricos clave, y evaluar el comportamiento térmico y eléctrico del generador bajo condiciones nominales (IEEE,

2019). Al integrar estos principios, el sistema propuesto no solo automatiza la secuencia de cargas, sino que también asegura el cumplimiento de estándares internacionales, incrementando la fiabilidad de los resultados y la trazabilidad de las pruebas.

Además, el sistema cuenta con rutinas de control programadas que aseguran una transición segura entre niveles de carga, así como una respuesta rápida ante condiciones anómalas. El uso de tecnologías accesibles y de bajo costo permite su replicabilidad en otros entornos académicos e industriales, haciendo del proyecto una herramienta de alto impacto y fácil implementación.

Desde una perspectiva académica, este trabajo integra conocimientos en automatización, electrónica de potencia, instrumentación y programación de sistemas embebidos, promoviendo una formación práctica alineada con las demandas del sector energético. A su vez, demuestra cómo la ingeniería electrónica puede contribuir a la transformación digital de procesos tradicionales, fomentando la innovación tecnológica en contextos reales.

En definitiva, esta propuesta representa un aporte valioso tanto para la mejora de procesos industriales como para el fortalecimiento de competencias profesionales, al ofrecer una solución concreta, eficiente y escalable para la automatización de pruebas en generadores eléctricos, en cumplimiento con estándares internacionales de calidad como la norma IEEE Std 115-2019 (IEEE, 2019).

La idea de este proyecto surge a partir de la experiencia laboral en la empresa Energía y Potencia, donde se identificó la necesidad de optimizar el proceso de pruebas con cargas resistivas en generadores eléctricos de combustión interna, debido a las limitaciones y riesgos asociados al método manual. Esta situación evidenció la oportunidad de

desarrollar una solución automatizada que permitiera mejorar la eficiencia, precisión y seguridad del procedimiento. La estructuración formal del proyecto se consolidó en el marco del curso Proyecto de Grado, aplicando la metodología CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar), la cual facilitó un abordaje práctico e ingenieril del problema, integrando competencias técnicas, analíticas y de diseño orientadas a resolver una necesidad real dentro del entorno industrial.

## Planteamiento del Problema

Las pruebas en generadores eléctricos son fundamentales para garantizar su correcto funcionamiento, eficiencia y confiabilidad. Según la norma IEEE Std 115-2019, estos procedimientos deben seguir metodologías rigurosas para la evaluación del desempeño eléctrico, la respuesta térmica y la integridad operativa de generadores sincrónicos, ya sea en condiciones de fábrica o en campo. Esta norma establece los lineamientos técnicos para la aplicación progresiva de cargas, la medición de parámetros eléctricos clave y la documentación de resultados de manera precisa y repetible (IEEE, 2019).

En la empresa Energía y Potencia, estas pruebas actualmente se realizan de forma manual, lo que genera una serie de limitaciones: errores operativos frecuentes, consumo innecesario de recursos y tiempos de prueba elevados, que alcanzan en promedio los 30 minutos por generador. La ausencia de un sistema automatizado dificulta la ejecución estructurada y eficiente de estos ensayos, afectando la fiabilidad de los datos recolectados y la toma de decisiones operativas.

La falta de un sistema de control automático para la gestión de bancos de carga genera una alta dependencia de la intervención humana, lo que incrementa la probabilidad de fallos operativos, retrabajos y sobrecostos que pueden superar el 20 % del presupuesto por prueba, según García y López (2020). Estos autores evidencian cómo los procesos manuales en las pruebas de carga resistiva aumentan los márgenes de error y afectan la sostenibilidad operativa.

Este problema tiene una relación directa con el campo de formación en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes (ETR), ya que su solución requiere la integración de sistemas embebidos, automatización y control digital. En este proyecto, se propone el

diseño e implementación de un sistema de control automatizado basado en la activación de la carga de manera escalonada (25%, 50%, 75% y 100%).

El uso de estas tecnologías responde a los principios de la Industria 4.0, donde la automatización, la supervisión inteligente y el análisis de datos son fundamentales para optimizar procesos en sectores estratégicos como la generación eléctrica (Raj et al., 2022). Este sistema no solo permitirá mejorar la precisión, seguridad y confiabilidad de las pruebas, sino también reducir los costos operativos, minimizar los tiempos de ejecución y contribuir al uso eficiente de los recursos técnicos y humanos de la empresa.

## Justificación

La automatización de las pruebas en generadores eléctricos es una estrategia clave para optimizar el proceso de evaluación, mejorando la precisión, eficiencia y seguridad operativa. Según Gers Ingeniería (2024), la implementación de tecnologías de automatización en procesos industriales reduce la probabilidad de error humano y mejora la eficiencia operativa, facilitando la toma de decisiones basadas en datos objetivos.

Entre los principales beneficios de este enfoque se destacan:

**Reducción de errores humanos:** La automatización minimiza las imprecisiones en la ejecución de las pruebas, garantizando resultados más confiables. De acuerdo con Kernova (2025), la integración de sistemas automatizados puede reducir los errores operativos entre un 15% y 20%, al eliminar tareas repetitivas propensas a fallos.

**Mayor eficiencia operativa:** Se estima que el tiempo total de prueba podría reducirse en un 50%, lo que optimiza el uso de recursos y disminuye los costos operativos, en línea con lo señalado por ADPMX (2024), quienes destacan que los procesos automatizados optimizan la producción y contribuyen a la eficiencia operativa. Además, la automatización permite estandarizar procedimientos, facilitando la trazabilidad de los datos y agilizando la detección de fallas.

**Confiabilidad en los resultados:** Se estima que el tiempo total de prueba podría reducirse en un 50%, lo que optimiza el uso de recursos y disminuye los costos operativos. Al seguir un protocolo estructurado, las pruebas serán más precisas, repetitivas y predecibles, lo que fortalece la implementación de mantenimiento predictivo. Según Miranda et al. (2019), el uso de tecnologías inteligentes en la gestión de sistemas eléctricos incrementa la precisión de los diagnósticos en un 35%, permitiendo una mejor planificación

del mantenimiento y la reducción de fallos inesperados. Además, la automatización permite estandarizar procedimientos, facilitando la trazabilidad de los datos y agilizando la detección de fallas.

Seguridad operativa: La automatización disminuye la exposición del personal a riesgos eléctricos, evitando accidentes derivados de errores humanos en la manipulación de cargas de prueba. Según Safety Mantis (2024), la digitalización de procesos industriales permite crear entornos de trabajo más seguros, minimizando directamente el riesgo de accidentes laborales mediante el uso de tecnologías como sensores, dispositivos inteligentes y protocolos automatizados.

#### Impacto en el ODS 9

Este proyecto está alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), ya que fomenta la modernización de infraestructuras eléctricas y mejora la eficiencia industrial. Según el Pacto Mundial de Naciones Unidas (s.f.), la adopción de tecnologías limpias, automatización y digitalización industrial son claves para alcanzar estándares de sostenibilidad y competitividad global.

Desde una perspectiva disciplinar, este proyecto fortalece el conocimiento y aplicación de sistemas de control automático en el campo de la ingeniería electrónica, contribuyendo al desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras en el ámbito social. Esto asegura mayor confiabilidad en la generación de energía, beneficiando tanto a industrias como a comunidades, al evitar fallos imprevistos que puedan afectar la producción o el suministro eléctrico.

A nivel personal y académico, el desarrollo de este sistema permite mejorar habilidades en el diseño de sistemas embebidos, control industrial y sistemas de potencia

preparando a los futuros ingenieros para enfrentar los desafíos de la automatización en procesos eléctricos. Según la UNAD (2025), la formación en tecnologías de automatización electrónica industrial responde a las exigencias de la Cuarta Revolución Industrial, fortaleciendo competencias en diseño, implementación y análisis de sistemas inteligentes para la toma de decisiones estratégicas

En conclusión, la automatización de pruebas en generadores eléctricos no solo optimiza el desempeño operativo de las pruebas, sino que también contribuye a mejorar la calidad, seguridad y sostenibilidad de los procesos industriales, promoviendo el avance tecnológico en el sector energético.

## **Objetivos**

A continuación, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto, enfocados en el desarrollo e implementación de un sistema de control automático para pruebas en bancos de carga resistivos, con el fin de optimizar los procesos operativos en la empresa Energía y Potencia.

### **Objetivo General**

Desarrollar un prototipo funcional de un sistema de control automático, mediante la implementación del microcontrolador Arduino Mega, para la ejecución de pruebas en bancos de carga resistivos de generadores eléctricos, con el propósito de optimizar la precisión, eficiencia y seguridad en el proceso de evaluación operativa dentro de la empresa Energía y Potencia.

### **Objetivos Específicos**

Definir los requerimientos funcionales y no funcionales del prototipo mediante la especificación de sus componentes clave, con el objetivo de garantizar la activación automática y controlada de las cargas resistivas durante las pruebas.

Diseñar e implementar el sistema de control automático, estableciendo una arquitectura modular y escalable, que permita gestionar la activación de cargas resistivas de forma programada, reduciendo la intervención manual y mejorando la trazabilidad de los datos obtenidos.

Realizar pruebas experimentales con generadores en bancos de carga resistivos para validar el desempeño del sistema, evaluando su precisión, eficiencia y reducción de errores operativos en comparación con el método manual tradicional.

Analizar los resultados obtenidos en las pruebas, cuantificando la reducción del tiempo de evaluación, la disminución de errores humanos y la mejora en la seguridad operativa, con el fin de identificar oportunidades de optimización y proponer mejoras en futuras implementaciones.

### **Antecedentes**

La automatización de bancos de carga para pruebas de generadores ha sido una práctica consolidada en la industria por parte de fabricantes de equipos originales "Original Equipment Manufacturer" (OEM), quienes integran tecnologías avanzadas para asegurar eficiencia operativa, seguridad y cumplimiento normativo.

Caterpillar Inc., por ejemplo, utiliza bancos de carga resistivos y reactivos en sus centros de pruebas para verificar el desempeño de generadores como el modelo CAT 3516E. Estos ensayos permiten simular condiciones reales de operación, evaluar la respuesta transitoria del sistema en motores diésel (Caterpillar Inc., s. f.).

Por su parte, Cummins Inc. ha desarrollado soluciones como el PowerCommand Load Control Module (LCM), diseñado para gestionar la aplicación de carga de manera automatizada y segura. Esta tecnología permite la regulación progresiva de la carga, sincronización entre grupos generadores y protección avanzada bajo normas internacionales como IEC 61439-2 y UL 508 (Cummins, 2020).

Leroy-Somer y Marathon Electric, reconocidos fabricantes de alternadores, han integrado en sus diseños funciones de autorregulación, arranque automático (AMF) y regulación de voltaje (AVR), lo que facilita su aplicación en bancos de carga automatizados. Estos componentes son ampliamente utilizados en ensamblajes con motores Perkins o Cummins para aplicaciones tanto comerciales como industriales (Nidec Leroy-Somer, 2021; Regal Rexnord, 2019).

Estas implementaciones industriales sirven como referencia clave para proyectos académicos y de ingeniería aplicada, ya que permiten adoptar principios de automatización,

trazabilidad de datos y seguridad eléctrica en sistemas de prueba a menor escala, utilizando plataformas como Arduino o controladores dedicados.

## **Marco de Referencia**

A continuación, se presenta el marco de referencia del proyecto, que integra los fundamentos conceptuales, teóricos y normativos relacionados con la automatización de pruebas en generadores eléctricos. Este apartado contextualiza el uso de bancos de carga resistivos, el rol del microcontrolador Arduino Mega en el control automático y la relevancia de la norma IEEE Std 115-2019 como guía técnica para garantizar seguridad, eficiencia y estandarización en los procedimientos de ensayo.

## **Marco Conceptual**

En el presente apartado se desarrolla el marco conceptual del proyecto, el cual aborda los principales elementos técnicos y normativos relacionados con la automatización de pruebas en generadores eléctricos. Este análisis incluye la descripción del proceso automatizado, el uso de bancos de carga resistivos, la implementación del microcontrolador como unidad central de control y el impacto de estas tecnologías en la eficiencia operativa y la seguridad del sistema. El objetivo es establecer una base teórica que respalde el diseño e implementación del sistema automatizado.

## ***Automatización de Pruebas en Generadores Eléctricos***

La automatización de pruebas en generadores eléctricos se refiere al uso de tecnologías de control automático para realizar evaluaciones estructuradas, repetitivas y confiables de equipos de generación. Esta práctica permite reducir errores humanos, optimizar los tiempos de prueba y mejorar la precisión de los diagnósticos. Según Suárez et al. (2020), la aplicación de sistemas automatizados puede disminuir el tiempo de evaluación en hasta un 50%, asegurando un control más preciso sobre el desempeño de los generadores.

La automatización también permite cumplir con los lineamientos de la norma IEEE Std 115-2019, la cual establece los procedimientos recomendados para realizar pruebas de aceptación y diagnóstico en generadores sincrónicos, tanto en condiciones de fábrica como en el sitio de operación. Esta norma exige que las pruebas sean repetibles, seguras y técnicamente fundamentadas, lo cual se facilita mediante sistemas automáticos con programación estructurada y control preciso de carga.

### ***Bancos de Carga Resistivos y su Aplicación en Pruebas de Generadores***

Los bancos de carga resistivos son dispositivos diseñados para evaluar el rendimiento de generadores eléctricos simulando condiciones de carga real. Estos equipos permiten aplicar diferentes niveles de carga (25%, 50%, 75% y 100%) de manera progresiva, midiendo la respuesta del generador ante variaciones de demanda. Según Durán et al. (2019), la automatización del proceso de carga mediante un microcontrolador Arduino Mega permite una ejecución estructurada y segura de las pruebas, minimizando errores humanos y mejorando la confiabilidad de los resultados.

Además, los bancos de carga permiten verificar parámetros operativos como la estabilidad de voltaje, frecuencia, capacidad de respuesta térmica y desempeño transitorio del generador, en conformidad con los lineamientos definidos por la norma IEEE Std 115-2019, que establece métodos específicos para probar la capacidad del generador bajo diferentes niveles de carga resistiva.

### ***Microcontrolador Arduino Mega***

El Arduino Mega es un microcontrolador ampliamente utilizado en sistemas de automatización debido a su capacidad de procesamiento, múltiples pines de entrada/salida y facilidad de programación. En este proyecto, se utiliza como

unidad central de control, gestionando la comunicación entre los periféricos del sistema: teclado matricial, pantalla LCD 20x4 y relés de estado sólido.

Su implementación permite una activación precisa de los niveles de carga resistiva mediante lógica programada, asegurando que las pruebas se realicen de forma estructurada y repetible. Según Vidal-Silva et al. (2019), esta integración de hardware y software permite la supervisión en tiempo real de las condiciones de prueba, facilitando la recopilación de datos para análisis posteriores y mejorando la eficiencia del proceso de evaluación.

### ***Impacto de la Automatización en la Eficiencia Operativa y Seguridad***

La automatización de procesos industriales, incluyendo la evaluación de generadores eléctricos, tiene un impacto significativo en la eficiencia operativa, la confiabilidad técnica y la seguridad del personal. Al reducir la intervención humana en tareas repetitivas, se disminuyen los errores operativos y se optimiza el uso de recursos técnicos y humanos. Según Molina Arévalo et al. (2022), la digitalización de pruebas puede reducir los costos operativos en hasta un 20%, gracias a la disminución de tiempos de inactividad y la mejora en las estrategias de mantenimiento predictivo.

Desde el punto de vista de la seguridad, los sistemas automatizados disminuyen la exposición del personal a riesgos eléctricos, ya que permiten la operación remota del banco de carga y reducen la manipulación directa de equipos bajo tensión. Esto contribuye a la creación de entornos de trabajo más seguros, especialmente en instalaciones industriales donde el cumplimiento de normativas como la IEEE Std 115-2019 exige un enfoque sistemático, confiable y seguro para las pruebas de generadores.

### ***Automatización con Arduino en Entornos Académicos y Profesionales***

El uso de Arduino como plataforma de automatización ha permitido desarrollar soluciones accesibles y eficientes en diversos ámbitos. La publicación de Moreno Salas (2025) sobre la práctica de semáforo con Arduino IDE ejemplifica su aplicación en la enseñanza de programación y control de hardware. Aunque su enfoque es un ejercicio académico en Tinkercad, los principios de automatización y control son los mismos que se aplican en el desarrollo de sistemas para pruebas en generadores eléctricos. En ambos casos, se emplean microcontroladores, sensores y actuadores para ejecutar funciones específicas de manera programada.

### ***Implementación de Arduino en Sistemas Físicos Automatizados***

El artículo de Pérez Tavera (2025) sobre bombas de agua controladas con Arduino demuestra cómo los microcontroladores pueden gestionar sistemas físicos mediante sensores y actuadores. Aunque su enfoque está en la automatización de sistemas de riego y drenaje, los principios de diseño pueden aplicarse en la implementación de bancos de carga resistivos para pruebas en generadores eléctricos. Utilizando Arduino Mega, en combinación con un teclado matricial, una pantalla LCD 20x4 y relés de estado sólido, es posible desarrollar un sistema que reduzca la intervención humana y optimice los tiempos de prueba.

El desarrollo de sistemas de automatización también se ha explorado en el ámbito del monitoreo de fauna silvestre. Casado Ramírez et al. (2022) presentan un dispensador de alimento automatizado con Arduino UNO, diseñado para estudios de fototrampeo en el Centro de Investigación y Transferencia de Tecnología Forestal en Campeche. Este sistema

integra un servomotor controlado por Arduino, alimentado por una batería de 12V conectada a un panel solar amorfo, permitiendo su operación autónoma durante 16 días.

Aunque su aplicación está enfocada en el control de la alimentación de especies como el Cereque, Tepezcuintle, Tlacuache y Cuatíes, la estructura del sistema y su capacidad de operación autónoma pueden extrapolarse a otras áreas de automatización, como el control de cargas eléctricas en pruebas de generadores.

### ***Automatización de Procesos y Optimización Energética***

La automatización no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también optimiza el consumo energético en diversos sectores industriales. Osorio Luna y Molina Ruiz (2019) analizan la implementación de tecnologías emergentes en la automatización de invernaderos, resaltando el uso de sensores y actuadores para gestionar variables ambientales. Estos conceptos pueden aplicarse en el control de bancos de carga para pruebas de generadores eléctricos, donde la supervisión en tiempo real es clave para la evaluación de parámetros eléctricos.

Por otro lado, el trabajo de Saldaña Carranza et al. (2016) en el desarrollo de un pasteurizador solar con monitoreo basado en sensores LM35 y Arduino, evidencia cómo la integración de sensores, interfaces de control como LabVIEW y el uso de energías renovables permiten mejorar la eficiencia en procesos térmicos. Este enfoque es aplicable a la automatización de pruebas en generadores eléctricos, ya que posibilita el registro y control preciso de variables críticas, reduciendo costos operativos y mejorando la confiabilidad del sistema.

## **Marco Teórico**

Este apartado desarrolla el marco teórico que sustenta el proyecto de automatización de pruebas en generadores eléctricos. En él se abordan los principios fundamentales de funcionamiento de los generadores de combustión interna, así como las características de las cargas resistivas utilizadas en pruebas bajo condiciones controladas. Además, se detallan los distintos tipos de pruebas a las que se someten los generadores eléctricos, en conformidad con normativas como la IEEE Std 115-2019 y la IEEE Std 43-2013, destacando su importancia para asegurar la confiabilidad y el desempeño del equipo.

También se incluye la revisión del uso de plataformas de automatización como Arduino, tanto en entornos académicos como profesionales, y su aplicabilidad en el diseño de sistemas de prueba estructurados, eficientes y seguros. Este marco proporciona la base técnica y referencial necesaria para el diseño e implementación del sistema automatizado propuesto.

### ***Generadores Eléctricos***

Un generador eléctrico de combustión interna es una máquina que convierte la energía química contenida en un combustible (como diésel, gasolina o gas) en energía eléctrica mediante un proceso mecánico y electromagnético. Este sistema consta principalmente de un motor térmico, que genera movimiento mediante la combustión controlada, y un alternador que transforma dicho movimiento en corriente alterna utilizable (Cummins Inc., 2024).

El motor de combustión interna funciona mediante la expansión de gases generados por la quema del combustible dentro del cilindro, lo que mueve el pistón y, a través de la biela, rota el cigüeñal (Mahindra Powerol, 2023).

El alternador, conectado al motor, convierte la energía mecánica en energía eléctrica mediante el principio de inducción electromagnética. Este dispositivo consta de un rotor que gira dentro de un estator, generando un campo magnético variable que induce una corriente eléctrica en las bobinas del estator (Leroy-Somer, 2022). La electricidad generada se utiliza para alimentar equipos eléctricos o se almacena en baterías para su uso posterior.

El funcionamiento del generador comienza con la combustión interna, donde se produce una expansión de gases que impulsa un pistón o rotor, el cual transmite ese movimiento a un eje conectado al alternador. Este, al girar dentro de un campo magnético, induce un voltaje según la ley de Faraday, produciendo así electricidad (IEEE, 2019). A su vez, el sistema incluye mecanismos de regulación, refrigeración, escape y control para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro (Perkins Engines Company, 2023).

Existen distintos tipos de generadores según el combustible utilizado: gasolina, diésel, gas natural o biocombustibles. Los generadores diésel son especialmente utilizados en entornos industriales y pruebas de carga debido a su eficiencia y robustez (Caterpillar Inc., 2024). En contextos de ensayos técnicos, como los realizados en bancos de carga resistivos, estos generadores permiten evaluar su capacidad operativa bajo distintas condiciones de carga, tal como lo establece la norma IEEE Std 115-2019, que define procedimientos estandarizados para la verificación del desempeño eléctrico de generadores sincrónicos en pruebas de aceptación y diagnóstico (IEEE, 2019).

Este tipo de generadores es fundamental en sectores donde se requiere energía continua o de respaldo, como hospitales, telecomunicaciones o plantas industriales, y se integran frecuentemente en sistemas automatizados que permiten el control remoto y la supervisión

precisa de los parámetros eléctricos y térmicos durante las pruebas (Water Environment Federation, 2017).

### ***Tipos De Generadores Eléctricos***

En el marco del proyecto Automatización de bancos de carga resistivos para pruebas de generadores eléctricos, es fundamental comprender los diferentes tipos de generadores existentes, ya que cada uno presenta características operativas específicas que influyen en los protocolos de prueba, en los niveles de carga aplicados y en la forma en que se automatizan dichos procesos.

Los generadores eléctricos se pueden clasificar de la siguiente manera:

**Según el Tipo de Corriente Generada.** Según el tipo de corriente generada, los generadores eléctricos se clasifican en generadores de corriente continua y generadores de corriente alterna. Esta diferenciación determina las aplicaciones, el diseño del sistema y los procedimientos de prueba, ya que cada tipo presenta características técnicas y operativas específicas que deben ser consideradas al momento de implementar y automatizar los procesos de evaluación del rendimiento.

***Generadores de Corriente Alterna (AC).*** Son los más utilizados en aplicaciones industriales, comerciales y en sistemas interconectados a la red eléctrica, debido a su capacidad para suministrar energía de forma eficiente a grandes distancias y en sistemas trifásicos. Esta eficiencia se debe a que la corriente alterna puede transformarse fácilmente a diferentes niveles de voltaje mediante el uso de transformadores, lo que permite reducir las pérdidas en la transmisión y adaptarse a los requerimientos específicos de diferentes cargas. Además, los generadores de corriente alterna síncronos pueden operar de manera sincronizada con la red eléctrica, lo cual es esencial en sistemas de generación distribuida,

plantas de emergencia y respaldo energético. Su versatilidad y adaptabilidad los convierten en la opción preferida para alimentar maquinaria industrial, sistemas de iluminación, motores eléctricos y otros equipos que requieren un suministro constante, confiable y de alta potencia.

- Generadores síncronos. Son ampliamente utilizados en centrales eléctricas debido a su capacidad para mantener una regulación precisa de la frecuencia y el voltaje de salida. Operan a una velocidad constante, sincronizada con la frecuencia de la red eléctrica (generalmente 50 o 60 Hz), lo que los hace ideales para sistemas donde se requiere estabilidad y calidad en el suministro de energía. Estos generadores, permiten un control exacto del voltaje mediante el ajuste de la corriente de excitación, y su operación sincronizada garantiza una integración segura y eficiente con otras fuentes de generación en la red. Además de su uso en plantas hidroeléctricas, térmicas o nucleares, este tipo de generador también se emplea en sistemas de generación con motores de combustión interna, como los generadores diésel o a gas, utilizados comúnmente en instalaciones industriales, hospitales y centros de datos como fuentes de energía de respaldo. En estos casos, el generador síncrono acoplado al motor de combustión ofrece una respuesta rápida y estable, capaz de sincronizarse con la red o funcionar de forma aislada en modo isla.

(Giraldo Buitrago et al., 2006).

- Generadores asíncronos o de inducción. Son utilizados principalmente en sistemas de generación distribuida y en aplicaciones de energías renovables, como la energía eólica y algunas instalaciones de pequeña hidroeléctrica, debido a su menor costo, simplicidad constructiva y facilidad de mantenimiento. A diferencia de los

generadores síncronos, no requieren un sistema de excitación externo, lo que reduce la complejidad del control y la operación. Su funcionamiento depende de una fuente externa de energía reactiva, por lo que comúnmente se conectan a una red eléctrica o a bancos de capacitores para su correcta operación. Aunque presentan una menor capacidad de regulación de voltaje y frecuencia, su robustez, bajo nivel de fallas y capacidad para adaptarse a variaciones de velocidad los hacen ideales para entornos donde la eficiencia económica y la operación sencilla son prioritarias. (Electricity & Magnetism, 2023).

**Generadores de Corriente Directa (DC).** Aunque son menos comunes en la actualidad debido al predominio de la corriente alterna en los sistemas eléctricos modernos, los generadores de corriente directa aún se emplean en aplicaciones específicas donde se requiere un suministro eléctrico constante y estable. Son utilizados en la carga de baterías industriales, sistemas de tracción eléctrica (como trenes o tranvías antiguos), procesos electroquímicos, laboratorios de investigación y en ciertos equipos médicos o electrónicos de alta precisión. Su capacidad para entregar voltaje continuo los hace ideales en sistemas que no toleran variaciones en la polaridad ni en la magnitud de la tensión. A pesar de su menor presencia en la industria general, siguen siendo fundamentales en nichos donde la corriente directa es indispensable (Electricity & Magnetism, 2023).

**Según La Fuente de Energía Primaria.** Según la fuente de energía primaria utilizada para convertir la energía mecánica en eléctrica, los generadores se clasifican en función del recurso que impulsa su funcionamiento. Esta clasificación es fundamental para entender el contexto de uso, la eficiencia del sistema y su impacto ambiental. Las principales fuentes incluyen combustibles fósiles, energía hidráulica, eólica, solar y biomasa, entre otras. Cada

una de estas fuentes determina las características operativas del generador, su diseño estructural y su aplicación dentro del sistema eléctrico.

***Generadores Térmicos (de Combustión Interna).*** Funcionan mediante motores térmicos que queman combustibles fósiles como diésel, gasolina o gas natural para generar energía mecánica, que luego se convierte en electricidad. Se destacan por su confiabilidad, respuesta rápida y operación autónoma, siendo ideales como respaldo en hospitales, centros de datos e industrias. Además, por su estabilidad y facilidad de control, son los más usados en pruebas con bancos de carga resistivos para evaluar el desempeño de los generadores (Cummins Power Generation, 2023).

***Generadores Hidráulicos.*** Los generadores hidráulicos utilizan la energía del agua en movimiento para generar electricidad mediante turbinas, siendo clave en las plantas hidroeléctricas por su eficiencia, sostenibilidad y bajo impacto ambiental. Además, permiten una regulación precisa del flujo energético, facilitando su integración en redes de alta demanda (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2021).

***Generadores eólicos.*** Los generadores eólicos convierten la energía del viento en electricidad mediante aerogeneradores, siendo una alternativa limpia que ha crecido significativamente. Son ideales para zonas rurales o con difícil acceso a la red eléctrica, y contribuyen a la diversificación energética y la reducción de emisiones. Su escalabilidad los hace aptos tanto para usos domésticos como para grandes parques eólicos (Siemens Gamesa, 2023).

***Generadores Solares (Fotovoltaicos).*** Los generadores solares fotovoltaicos convierten directamente la radiación solar en energía eléctrica mediante paneles solares. Se caracterizan por su bajo impacto ambiental, fácil mantenimiento y alta disponibilidad,

siendo ideales para generación distribuida. Su uso ha crecido en sectores residenciales, comerciales e industriales, especialmente en zonas aisladas. Además, su integración con sistemas de almacenamiento mejora la autonomía y estabilidad del suministro (IRENA, 2021).

**Según Su Aplicación.** los generadores eléctricos se clasifican en función del entorno y el propósito para el cual han sido diseñados. Esta clasificación permite identificar las características operativas, los niveles de potencia requeridos y las condiciones técnicas específicas que deben cumplir para desempeñarse de manera eficiente. Existen generadores destinados a usos residenciales, comerciales, industriales, de emergencia, portátiles, y también aquellos utilizados en sistemas de generación centralizada o distribuida. Cada tipo responde a necesidades particulares en cuanto a autonomía, capacidad, tipo de carga y condiciones de operación, lo que influye directamente en el diseño de los sistemas de prueba y en los criterios de automatización asociados.

**Portátiles.** Diseñados para uso temporal o en exteriores, estos generadores se caracterizan por ser compactos, livianos y de fácil traslado, lo que permite su rápida implementación en diversos entornos. Son ideales para trabajos en campo, actividades al aire libre, obras de construcción, mantenimiento de infraestructura y emergencias puntuales donde se requiere una fuente de energía confiable de forma inmediata. Su practicidad y autonomía los convierten en una solución eficiente para situaciones donde no se dispone de acceso a la red eléctrica convencional (Honda Power Equipment, 2021). Algunos modelos incluso incorporan arranque eléctrico, regulación automática de voltaje y bajo nivel de ruido, lo que amplía su versatilidad y comodidad de uso.

***Estacionarios o Industriales.*** Están diseñados para una instalación fija y para operar de forma continua o intermitente en aplicaciones que demandan el suministro de energía a cargas pesadas y críticas. Se utilizan comúnmente en industrias, hospitales, centros de datos, sistemas de bombeo y otras infraestructuras donde la confiabilidad eléctrica es fundamental. Estos generadores cuentan con una estructura robusta, capacidades de alta potencia y sistemas de refrigeración eficientes, lo que les permite funcionar durante largos periodos sin interrupciones. Además, incorporan sistemas de control y monitoreo avanzado, que permiten supervisar parámetros eléctricos y mecánicos en tiempo real, facilitar la automatización de arranque/parada, y garantizar una operación segura y eficiente bajo diversas condiciones de carga (Generac Industrial Power, 2022). Su integración con sistemas de transferencia automática y redes de gestión energética los convierte en una solución estratégica para garantizar la continuidad operativa en entornos exigentes.

***De respaldo (stand-by).*** Están diseñados para entrar en funcionamiento automáticamente en caso de una interrupción del suministro eléctrico, garantizando la continuidad del servicio sin intervención manual. Se utilizan principalmente en instalaciones críticas como hospitales, centros de datos, estaciones de telecomunicaciones, entidades financieras y edificios comerciales, donde incluso breves cortes de energía pueden generar pérdidas significativas o poner en riesgo la seguridad. Estos sistemas suelen estar integrados con tableros de transferencia automática (ATS), que detectan la falla en la red y activan el generador en cuestión de segundos. Aunque no están destinados a operar de forma continua, su alta confiabilidad, capacidad de respuesta inmediata y bajo tiempo de conmutación los convierten en una solución esencial para mantener la operatividad en situaciones de emergencia (Caterpillar, 2022).

***Sincronizados en Paralelo.*** Es una configuración en la que dos o más generadores operan de forma coordinada y simultánea, compartiendo la carga eléctrica de manera equilibrada. Esta modalidad permite aumentar la capacidad total del sistema, mejorar la eficiencia operativa y proporcionar redundancia, lo que garantiza continuidad en el suministro ante el fallo de uno de los equipos. La sincronización se logra igualando parámetros como voltaje, frecuencia y ángulo de fase entre los generadores antes de conectarlos a una carga común o a la red. Este tipo de sistemas es especialmente útil en aplicaciones críticas o de alta demanda, ya que permite realizar mantenimientos sin necesidad de interrumpir el servicio, escalar la potencia instalada según las necesidades del usuario, y optimizar el consumo de combustible al activar solo los generadores necesarios (Cummins Power Systems, 2023). Además, suelen incorporar sistemas de control avanzados que gestionan automáticamente la distribución de carga, el arranque y la desconexión de cada unidad.

### ***Cargas Resistivas***

Las cargas resistivas son aquellos componentes o dispositivos eléctricos cuya principal característica es oponerse al paso de la corriente exclusivamente mediante una resistencia. En estas cargas, la energía eléctrica se convierte íntegramente en calor, sin que exista un desfase significativo entre la corriente y el voltaje. Esto implica que la corriente y la tensión están en fase, es decir, alcanzan sus valores máximos y mínimos de manera simultánea. Ejemplos comunes de cargas resistivas incluyen bombillas incandescentes, estufas eléctricas, tostadoras, hornos y radiadores eléctricos.

Una de las propiedades fundamentales de estas cargas es que obedecen estrictamente la Ley de Ohm, la cual establece que la corriente eléctrica ( $I$ ) es directamente

proporcional al voltaje ( $V$ ) e inversamente proporcional a la resistencia ( $R$ ), expresado matemáticamente como:  $I = \frac{V}{R}$

En circuitos de corriente alterna (CA), las cargas resistivas mantienen el voltaje y la corriente en fase, lo que simplifica el análisis de potencia. A diferencia de las cargas inductivas o capacitivas, las resistivas no almacenan energía temporalmente en campos magnéticos o eléctricos, sino que la disipan completamente en forma de calor. Esta característica implica que el factor de potencia es igual a 1, lo que representa una utilización eficiente de la energía suministrada.

Las cargas resistivas son las más simples de analizar porque no causan ningún desfase entre corriente y voltaje, y toda la potencia consumida se transforma en calor (Alexander & Sadiku, 2006).

Además, las cargas resistivas juegan un papel fundamental en la enseñanza de los conceptos básicos de la electricidad y la electrónica, ya que su comportamiento es predecible y lineal, lo que permite modelar y entender fácilmente los efectos de la corriente y el voltaje en un circuito. Según Nilsson y Riedel (2011), las cargas puramente resistivas permiten ilustrar los principios esenciales de la transferencia de energía eléctrica sin la complejidad de la reactancia.

En la práctica, también se utilizan para pruebas de sistemas eléctricos, ya que simulan condiciones de carga estable sin introducir componentes reactivos. Hughes y Drury (2004) destacan que, en aplicaciones prácticas, las cargas resistivas proporcionan una forma segura y controlada de verificar la respuesta de un sistema eléctrico bajo condiciones de carga realistas.

### ***Pruebas de Generadores Eléctricos***

Los generadores eléctricos son componentes esenciales en sistemas de respaldo, generación distribuida y plantas de generación eléctrica. Para asegurar su correcto funcionamiento, es fundamental realizar una serie de pruebas que verifiquen su estado eléctrico, mecánico y térmico, tanto durante el comisionamiento (puesta en marcha) como en las inspecciones periódicas de mantenimiento preventivo (Gonen, 2016).

Estas pruebas permiten detectar fallas incipientes, validar la integridad de los componentes y garantizar que el generador puede operar de forma segura y eficiente bajo diversas condiciones de carga. De acuerdo con las normas internacionales, estas pruebas se dividen generalmente en tres categorías: pruebas eléctricas estáticas, pruebas funcionales en vacío y pruebas dinámicas bajo carga (IEEE Std 115-2019).

Una de las pruebas más utilizadas es la prueba de resistencia de aislamiento, la cual se realiza con un megóhmetro y tiene como objetivo evaluar la condición del aislamiento de los devanados del estator y rotor. Según el estándar IEEE Std 43-2013, se recomienda una resistencia mínima de  $1 \text{ M}\Omega$  por cada kilovoltio de tensión nominal para garantizar la seguridad y evitar fallas a tierra.

Otra prueba crítica es la resistencia óhmica de los devanados, que se lleva a cabo con un micro-ohmímetro de precisión. Esta permite identificar desequilibrios entre fases o conexiones defectuosas que podrían causar sobrecalentamiento localizado (Gonen, 2016).

La prueba de relación de transformación, especialmente importante en generadores con excitatrices separadas, verifica la relación adecuada entre el devanado de excitación y el rotor, asegurando una regulación estable del voltaje (IEEE Std 115-2019).

Por su parte, la prueba de tensión sin carga (No-load Test) evalúa el comportamiento del generador funcionando sin conexión a cargas externas. Se comprueba la estabilidad del voltaje generado y la correcta respuesta del sistema de excitación ante condiciones nominales (IEC 60034-1, 2017).

Las pruebas bajo carga permiten evaluar el comportamiento del generador en condiciones reales de operación. Estas pueden realizarse utilizando cargas resistivas, inductivas y capacitivas, cada una con un propósito técnico específico.

### ***Prueba con Carga Resistiva***

Este tipo de prueba utiliza cargas que consumen exclusivamente potencia activa (W), sin introducir componentes reactivos en el sistema. Para ello, se conectan bancos de carga resistivos, como estufas eléctricas, calefactores industriales o resistencias de alta potencia, con el fin de simular condiciones reales de operación. Esta prueba es fundamental para verificar que el generador sea capaz de suministrar su potencia nominal de manera continua, sin presentar caídas significativas de voltaje. Además, permite evaluar parámetros clave como la estabilidad de frecuencia, la capacidad de regulación de voltaje bajo carga y la respuesta térmica del equipo, ya que el incremento sostenido de temperatura puede afectar el rendimiento y la vida útil del generador. Es una prueba ampliamente utilizada por su simplicidad, precisión y utilidad para validar el comportamiento básico del sistema eléctrico antes de someterlo a cargas más complejas (Gonen, 2016).

### ***Prueba con Carga Inductiva***

Este tipo de prueba simula condiciones de operación en las que se conectan cargas inductivas, como motores eléctricos, transformadores o bobinas, que demandan tanto potencia activa (W) como potencia reactiva inductiva (VAR). A diferencia de las cargas

puramente resistivas, las inductivas introducen desfases entre corriente y voltaje, lo que exige una mayor capacidad de respuesta por parte del sistema de excitación del generador. Esta prueba es fundamental para evaluar el desempeño del generador ante cargas típicas del entorno industrial, donde el factor de potencia es inferior a la unidad. Permite analizar el comportamiento del sistema de regulación de voltaje, la respuesta del sistema de excitación frente a variaciones en la demanda reactiva, la estabilidad del voltaje bajo condiciones dinámicas, y el comportamiento térmico del rotor, que puede estar sometido a un mayor esfuerzo eléctrico y mecánico. Además, es útil para verificar que el generador mantenga una operación segura y eficiente en aplicaciones donde predominan cargas inductivas (IEEE Std 115-2019).

### ***Prueba con Carga Capacitiva***

Este tipo de prueba se realiza utilizando cargas que generan potencia reactiva capacitiva, como bancos de condensadores o líneas de transmisión operando en vacío. Su propósito principal es evaluar la capacidad del generador para operar con factores de potencia adelantados, una condición en la que el flujo de corriente se anticipa al voltaje, lo que puede provocar un incremento no controlado del voltaje terminal si el sistema de regulación no actúa correctamente. Esta prueba es especialmente relevante en instalaciones donde se emplean bancos de condensadores para corregir el factor de potencia, como ocurre en sistemas industriales o comerciales con cargas predominantemente inductivas. Permite verificar la respuesta del sistema de excitación ante la inyección de potencia reactiva y evaluar la estabilidad del voltaje en condiciones no habituales, pero posibles en entornos reales de operación (IEC 60034-1, 2017).

Como señala Gonen (2016), “la combinación de pruebas resistivas, inductivas y capacitivas proporciona una visión integral del desempeño del generador bajo distintos escenarios de carga, lo cual es esencial para validar su robustez y estabilidad operativa.” Esta integración de pruebas permite anticipar comportamientos críticos, ajustar parámetros de control y garantizar un funcionamiento seguro en cualquier entorno eléctrico.

### **Marco Normativo**

Dentro del desarrollo de este proyecto, se establece un marco normativo sólido que respalda la implementación del sistema automatizado para pruebas de generadores eléctricos. Se toma como referencia principal la norma IEEE Std 115-2019, reconocida internacionalmente por definir procedimientos estandarizados para la evaluación de máquinas sincrónicas tanto en fábrica como en campo. Esta guía técnica proporciona lineamientos precisos para la aplicación progresiva de cargas resistivas, el monitoreo continuo de variables operativas y la verificación de condiciones eléctricas y térmicas del generador. La adopción de esta norma asegura que las pruebas realizadas cumplan con criterios de seguridad, exactitud y repetibilidad, favoreciendo la estandarización y eficiencia de los procesos en el ámbito de la generación eléctrica.

En la norma IEEE Std 115-2019, titulada “IEEE Guide for Test Procedures for Synchronous Machines”, la cual representa uno de los referentes técnicos más completos y aceptados a nivel mundial para la realización de pruebas eléctricas en máquinas sincrónicas, tanto en fábrica como en campo. Su aplicación resulta esencial para garantizar la calidad, seguridad y confiabilidad de los generadores eléctricos utilizados en sistemas de generación, transmisión y respaldo energético.

La IEEE 115-2019 pertenece a la familia de normas desarrolladas por el Power and Energy Society del IEEE, y está orientada principalmente a ingenieros eléctricos, fabricantes, operadores de plantas eléctricas, empresas de mantenimiento y laboratorios de pruebas. Esta guía establece metodologías detalladas para ensayos que permiten:

- Verificar el cumplimiento de especificaciones técnicas del generador, como potencia nominal, factor de potencia, regulación de tensión, eficiencia y capacidad térmica.
- Determinar la condición operativa de la máquina bajo diferentes regímenes de carga, mediante pruebas como la de vacío, cortocircuito, y carga total.
- Identificar fallas incipientes en el aislamiento, devanados o sistemas de excitación.
- Evaluar el rendimiento térmico mediante la medición del incremento de temperatura en los devanados y componentes durante el funcionamiento a plena carga.
- Caracterizar la respuesta dinámica del generador ante variaciones en la carga, frecuencia o tensión.

Entre los procedimientos más relevantes descritos en la norma se incluyen:

### ***Pruebas de Aceptación***

Estas pruebas se llevan a cabo antes de la puesta en marcha oficial del generador, con el objetivo de verificar que cumpla con los parámetros eléctricos, térmicos y mecánicos especificados por el fabricante. Incluyen la evaluación de la potencia nominal, la

estabilidad de frecuencia y voltaje, el factor de potencia, la respuesta del sistema de excitación, y el comportamiento térmico bajo carga sostenida. También se inspeccionan aspectos como el aislamiento de los devanados, la correcta conexión de los sistemas auxiliares y la funcionalidad de los sistemas de protección y control. Estas pruebas constituyen una etapa crítica del proceso de instalación, ya que permiten validar el rendimiento del equipo en condiciones nominales, detectar posibles fallas de fabricación o instalación, y establecer una línea base para el mantenimiento futuro (IEEE Std 115-2019; IEC 60034-1, 2017).

### ***Pruebas de rutina y Mantenimiento***

Estas pruebas se realizan de forma periódica durante la vida útil del generador para garantizar su correcto funcionamiento y prevenir fallas inesperadas. Su objetivo principal es detectar signos de desgaste o deterioro provocados por el uso prolongado, sobrecargas, vibraciones mecánicas, contaminación, humedad, y otras condiciones ambientales adversas. Incluyen inspecciones visuales, mediciones de aislamiento, verificación del sistema de enfriamiento, análisis de aceites y combustibles, y pruebas de carga bajo condiciones controladas. Además, permiten evaluar la eficiencia operativa y la necesidad de ajustes, limpieza o reemplazo de componentes críticos, contribuyendo a extender la vida útil del generador y garantizar su disponibilidad en situaciones de emergencia o carga continua (IEEE Std 43-2013; NFPA 110, 2019).

### ***Pruebas de Tipo***

Son evaluaciones exhaustivas realizadas típicamente en condiciones controladas de fábrica sobre un prototipo o unidad representativa de una serie de producción. Su propósito es validar el diseño, el desempeño eléctrico y mecánico, así como la conformidad con

normas internacionales y especificaciones técnicas del fabricante. Estas pruebas incluyen ensayos de carga, eficiencia, aislamiento, resistencia dieléctrica, vibraciones, sobre velocidad, estabilidad térmica y regulación de voltaje, entre otros. Los resultados obtenidos permiten garantizar que todas las unidades de la serie cumplirán con los requisitos de calidad y funcionamiento, antes de su fabricación en masa y posterior comercialización (IEC 60034-1, 2017; IEEE Std 115-2019).

En particular, la norma IEEE Std 115-2019 define con precisión una serie de procedimientos técnicos detallados para la aplicación controlada de cargas resistivas durante las pruebas de generadores sincrónicos. Este tipo de cargas es fundamental para simular condiciones operativas reales de manera segura y estandarizada, permitiendo someter al generador a distintos niveles de exigencia.

La aplicación de cargas resistivas bajo control permite evaluar el comportamiento eléctrico, térmico y dinámico del generador en condiciones estables y repetibles. La norma establece que estas cargas deben ser incrementadas en etapas definidas y de forma progresiva, normalmente en bloques que representen fracciones del 25%, 50%, 75% y hasta el 100% de la potencia nominal del generador. Cada etapa debe mantenerse por un periodo suficiente para que el sistema alcance una condición de equilibrio térmico, permitiendo la evaluación precisa de parámetros como el incremento de temperatura, la respuesta en tensión y la estabilidad del factor de potencia.

Además, se especifican criterios de tiempo de estabilización, procedimientos para la conexión y desconexión de las cargas, y recomendaciones para evitar cambios bruscos que puedan generar transitorios eléctricos o mecánicos peligrosos. Se enfatiza también en el uso

de dispositivos de conmutación seguros, como relés de estado sólido o contactores industriales, que aseguren una transición suave entre los niveles de carga sin riesgo de arcos eléctricos o picos de corriente.

Otro aspecto clave definido por la norma es la monitorización continua de variables críticas durante la aplicación de la carga: tensión por fase, corriente por línea, potencia activa y reactiva, factor de potencia, frecuencia y temperatura en puntos estratégicos del generador (como devanados, núcleo y carcasa). La exactitud en la medición y el registro de estos valores permite validar la respuesta del generador frente a las exigencias establecidas por su diseño y detectar posibles anomalías que indiquen deterioro o condiciones anormales.

Este enfoque sistemático en el uso de cargas resistivas controladas no solo contribuye a la integridad de la prueba, sino que garantiza que el generador pueda operar de forma segura, estable y eficiente bajo distintas condiciones de carga. Así, la norma IEEE 115-2019 establece una base técnica indispensable para pruebas tanto manuales como automatizadas, como las desarrolladas en este proyecto mediante el uso de microcontroladores y relés programables.

El sistema automatizado propuesto en este proyecto se encuentra en plena concordancia con estos lineamientos normativos. Mediante el uso de un controlador programable (Arduino Mega), una interfaz HMI con pantalla LCD y un teclado matricial, se implementa una secuencia lógica de activación progresiva de cargas resistivas en etapas del 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad nominal del generador. Esta secuenciación permite realizar pruebas escalonadas con alta precisión, garantizando una operación segura, trazable y

replicable. Además, el uso de relés de estado sólido reduce significativamente el riesgo de fallas por arcos eléctricos o sobrecargas transitorias, en cumplimiento con las prácticas recomendadas por la norma.

La adopción de la IEEE Std 115-2019 como marco normativo no solo respalda la validez técnica e internacional de las pruebas realizadas, sino que también fortalece la estandarización de procesos en la industria energética. Asimismo, impulsa la transición hacia sistemas de prueba digitalizados, eficientes y más seguros, alineados con los requerimientos actuales de calidad, sostenibilidad y automatización en el sector eléctrico.

## **Metodología**

La presente metodología describe el enfoque adoptado para el diseño, implementación y validación del sistema de automatización de pruebas con cargas resistivas aplicadas a generadores eléctricos. El proceso se estructuró en etapas secuenciales que incluyeron la caracterización de los equipos, el desarrollo de los protocolos de prueba (manual y automático), la integración del sistema de control basado en Arduino Mega y el registro de variables eléctricas clave. Cada fase fue desarrollada bajo condiciones controladas, garantizando la reproducibilidad de los resultados y el cumplimiento de estándares técnicos de seguridad y calidad.

### **Especificación de las Pruebas a Realizar**

Con el fin de verificar el desempeño eléctrico de los generadores bajo condiciones controladas, se definieron dos protocolos operativos complementarios: modo manual y modo automático. Ambos procedimientos tienen como propósito evaluar el comportamiento del generador frente a la aplicación progresiva de cargas resistivas en niveles del 25%, 50%, 75% y 100%, durante un ciclo de prueba estandarizado. Estas cargas simulan condiciones reales de operación, permitiendo analizar parámetros como voltaje, corriente, frecuencia y potencia en cada etapa del ensayo.

Este proyecto adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recopilación de datos numéricos sobre el desempeño de generadores eléctricos al ser sometidos a pruebas automatizadas. El diseño del estudio es experimental, dado que se implementará un sistema de control automatizado basado en un microcontrolador para la ejecución de pruebas en generadores con bancos de carga resistivos.

### **Diseño e Implementación del Sistema Automatizado**

- La selección de los componentes a utilizar en este proyecto se realizará con base en criterios de funcionalidad, compatibilidad, disponibilidad en el mercado y costo-beneficio. Cada elemento se seleccionará para garantizar el cumplimiento de los objetivos del sistema automatizado de pruebas con cargas resistivas en generadores eléctricos de combustión interna, asegurando una operación confiable, precisa y segura.

- Programación de la secuencia de activación de cargas resistivas en niveles de 25%, 50%, 75% y 100%.

- Integración de los elementos en un prototipo funcional.

### **Fase de Prueba y Calibración**

Verificación del correcto funcionamiento del sistema con cargas resistivas.

Ajuste de tiempos de activación y precisión en la asignación de potencia.

Comparación con pruebas manuales para evaluar eficiencia y reducción de errores.

### **Validación del Sistema**

Se implementarán pruebas con diferentes generadores eléctricos para medir el desempeño del sistema.

Se compararán los datos obtenidos con registros previos de pruebas manuales para identificar mejoras en precisión y tiempos de ejecución.

### **Método Estadístico Para Análisis De Datos**

Comparación de tiempos de prueba: análisis de eficiencia basado en la reducción de tiempo en la ejecución de pruebas.

Pruebas de fiabilidad: evaluación de la repetibilidad del sistema mediante la medición de variaciones en los datos registrados.

El objetivo del análisis es determinar si la implementación del sistema automatizado mejora la precisión de las pruebas y reduce los tiempos de ejecución en comparación con el método manual.

Este enfoque metodológico permitirá una evaluación precisa del impacto de la automatización en las pruebas de generadores eléctricos, asegurando la fiabilidad y eficiencia del sistema desarrollado.

## Resultados Obtenidos

Como parte integral del desarrollo del proyecto, se diseñó e implementó una solución automatizada orientada a la conexión sistemática y segura de los bancos de carga resistivos utilizados en las pruebas de generadores eléctricos. Esta solución se fundamenta en una plataforma de control embebida que utiliza como núcleo el microcontrolador Arduino Mega 2560, seleccionado por su versatilidad, número de entradas/salidas digitales y capacidad de procesamiento.

El sistema permite al operador seleccionar un generador específico desde un teclado matricial 4x4 y visualizar la información operativa a través de una pantalla LCD 20x4, brindando una interfaz intuitiva para la configuración y seguimiento de las pruebas. Una vez seleccionado el generador, el sistema ejecuta de manera automática la aplicación progresiva de cargas resistivas en porcentajes controlados (25%, 50%, 75% y 100% de la potencia nominal), utilizando relés de estado sólido que garantizan una conmutación rápida, segura y libre de arcos eléctricos.

Esta arquitectura de automatización permite evaluar el comportamiento eléctrico del generador bajo diferentes niveles de exigencia, supervisando variables clave como voltaje, corriente, frecuencia y potencia activa en cada etapa de la prueba. Asimismo, minimiza la intervención humana, reduciendo el riesgo de errores operativos y aumentando la trazabilidad del proceso.

La implementación del sistema responde a la necesidad de optimizar los procedimientos de prueba, estandarizar los criterios de evaluación y mejorar la precisión,

seguridad y eficiencia del análisis técnico de los generadores eléctricos, especialmente en aplicaciones críticas donde la confiabilidad energética es fundamental.

Las Tablas 1 y 2 describen de forma detallada los pasos que deben seguirse en cada uno de estos modos. En el caso del modo manual, el operador es responsable de realizar directamente cada acción, desde la conmutación de las cargas hasta la medición de parámetros eléctricos, lo cual requiere una supervisión constante, habilidades técnicas específicas y un mayor tiempo de ejecución. Este procedimiento, aunque tradicional y ampliamente utilizado, presenta ciertas limitaciones operativas, como la posibilidad de errores humanos, tiempos de respuesta más lentos y mayor exposición del personal a riesgos eléctricos.

Por otro lado, el modo automático introduce mejoras significativas al proceso mediante el uso de una plataforma de control basada en el Arduino Mega 2560, que automatiza la activación de cargas, la temporización de los ciclos y la visualización de datos operativos en tiempo real. Esta automatización no solo reduce la intervención humana, sino que también estandariza el protocolo de prueba, mejora la trazabilidad de los datos, minimiza los tiempos de ejecución y refuerza la seguridad operativa. Además, permite implementar funciones adicionales como el ingreso de claves para la identificación del generador, el registro secuencial de parámetros y el apagado seguro del sistema tras la finalización del proceso.

En conjunto, estos dos enfoques permiten contrastar los resultados obtenidos bajo condiciones operativas distintas, facilitando así una evaluación comparativa más completa

y confiable del rendimiento del sistema de pruebas, y proporcionando insumos clave para validar su funcionalidad y estabilidad en diferentes escenarios de operación.

**Tabla 1**

*Procedimiento Pruebas Modo Manual*

Paso	Descripción
1	Verificar conexiones eléctricas y condiciones de seguridad.
2	Encender el generador y dejarlo estabilizar sin carga durante 2 min.
3	Aplicar carga del 25% manualmente (conmutación de banco resistivo).
4	Se realiza la medición de parámetros eléctricos: tensión, corriente, potencia y frecuencia, por el módulo de control del generador en pruebas.
5	Repetir pasos 3 y 4 para 50%, 75% y 100% de carga.
6	Observar comportamiento térmico durante 2.5 min en 100% de carga.
7	Retirar la carga gradualmente y apagar el generador.

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 2***Procedimiento Pruebas Modo Automático*

Paso	Descripción
1	Encender el sistema automático (Arduino Mega). El sistema inicializa la pantalla LCD y el teclado matricial.
2	Encender el generador y dejarlo estabilizar sin carga durante 2 min.
3	Digitación de la clave del generador. El operador ingresa una clave única desde el teclado matricial para identificar el generador que se va a probar. Esta clave se registra y se mostrará en la pantalla LCD.
4	El sistema activa automáticamente los relés correspondientes al 25% de carga y espera un tiempo de 2,5 minutos
5	Se realiza la medición de parámetros eléctricos: tensión, corriente, potencia y frecuencia, por el módulo de control del generador en pruebas.
6	El sistema incrementa la carga al 50%, luego al 75%, y finalmente al 100%, respetando los tiempos de estabilización de 1,5 segundos entre cada etapa.
8	Finalizado el tiempo de prueba, el sistema desactiva progresivamente los relés de carga hasta dejar el generador sin carga.

---

*Nota.* Elaboración propia

**Especificaciones Técnicas de los Materiales**

El adecuado funcionamiento del sistema automatizado de control para bancos de carga resistivos depende directamente de la selección precisa, integración eficiente y

compatibilidad técnica de los componentes electrónicos utilizados. Cada dispositivo cumple una función específica dentro del sistema, por lo que su elección fue realizada con base en criterios de fiabilidad, capacidad operativa, robustez y compatibilidad eléctrica con los demás elementos del circuito.

A continuación, se presentan las Tablas 3 a la 6, donde se detallan las especificaciones técnicas de los principales elementos empleados en el diseño e implementación del sistema, tales como el Arduino Mega 2560, los relés de estado sólido, la pantalla LCD 20x4, y el teclado matricial 4x4. Esta información resulta fundamental para comprender las capacidades operativas del sistema y justificar técnicamente su desempeño durante las pruebas de carga aplicadas a los generadores eléctricos.

En particular, la selección de los relés de estado sólido se basó en un proceso de dimensionamiento que consideró la corriente nominal y la tensión de operación de las bobinas de los contactores de potencia utilizados en los bancos de carga resistivos. Dado que los relés no conmutan directamente la carga resistiva, sino que activan los contactores encargados de dicha función, su capacidad de corriente debe ser suficiente para garantizar una conmutación segura y sin sobrecarga del circuito de control.

Se seleccionaron relés con capacidad mínima de 2 A en corriente alterna y tensión de salida de hasta 250 V AC, adecuados para accionar las bobinas de los contactores que operan a 110 V AC. Estos relés fueron escogidos por su confiabilidad, rápida conmutación, aislamiento galvánico y compatibilidad con la señal de control proveniente del Arduino (5 V DC en la entrada de control).

El criterio principal de selección fue asegurar una correcta activación de los contactores en ambos bancos de prueba, garantizando que la lógica de conmutación automatizada funcione

de manera segura y estable. Por tanto, los relés seleccionados sirven para ambos bancos de pruebas, ya que comparten el mismo tipo de contactores de potencia y arquitectura de control.

Estas especificaciones también permiten establecer los límites de operación seguros, anticipar posibles fallos, y facilitar futuras tareas de mantenimiento, reemplazo o ampliación del sistema.

### **Tabla 3**

#### *Especificaciones Técnicas Arduino Mega*

Parámetro	Especificación
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5 V
Pines digitales I/O	54 (15 con PWM)
Entradas analógicas	16
Corriente por pin I/O	20 mA (máx. recomendada)
Corriente pin 3.3V	50 mA máx.
Memoria Flash	256 KB (8 KB usada por el bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

Puertos UART	4
Interfaz de comunicación	UART, I2C, SPI
Conectividad USB	Tipo B (para programación y comunicación serie)
Conector de alimentación	Jack DC o pin Vin
Dimensiones	101.5 mm x 53.3 mm
Peso aproximado	37 g

---

*Nota.* <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf>

#### **Tabla 4**

##### *Especificaciones Técnicas Pantalla LCD 20x4 I2C*

Parámetro	Especificación
Modelo	LCD 20x4 con interfaz I2C (basada en controlador HD44780)
Resolución	20 caracteres × 4 líneas
Voltaje de operación	5 V DC
Corriente de operación	Aproximadamente 20 – 30 mA
Interfaz de comunicación	I2C (protocolo de 2 hilos: SDA y SCL)
Dirección I2C por defecto	0x27 o 0x3F (dependiendo del chip del módulo)

Controlador I2C	PCF8574 o PCF8574A
Tipo de pantalla	Caracteres, retroiluminada (LED, normalmente azul)
Tensión de retroiluminación	5 V
Contraste	Ajustable mediante potenciómetro en el módulo I2C
Dimensiones físicas	Aprox. 98 mm × 60 mm × 14 mm
Área visible	Aprox. 76 mm × 25 mm
Temperatura de operación	0°C a 50°C
Compatibilidad	Arduino, ESP32, STM32, Raspberry Pi, entre otros

---

*Nota.* [http://www.systronix.com/access/Systronix\\_20x4\\_lcd\\_brief\\_data.pdf](http://www.systronix.com/access/Systronix_20x4_lcd_brief_data.pdf)

### **Tabla 5**

#### *Especificaciones Técnicas Teclado Matricial 4x4*

Parámetro	Especificación
Tipo de teclado	Matricial 4x4
Total, de teclas	16
Distribución	4 filas × 4 columnas
Etiquetas de teclas	0–9, A–D, *, #

---

Interfaz de conexión	8 pines (4 para filas y 4 para columnas)
Voltaje de operación	3.3 V – 5 V (compatible con lógica TTL y CMOS)
Corriente típica	< 1 mA por pulsación
Tipo de contacto	Membrana con contactos de carbón (tipo push-button interno)
Método de escaneo	Escaneo por filas y columnas mediante microcontrolador
Material del cuerpo	Plástico ABS con cubierta de poliéster
Conector	Header de 8 pines en línea (puede ser soldado o por jumper dupont)
Dimensiones aproximadas	70 mm × 77 mm (puede variar ligeramente según el fabricante)
Compatibilidad	Arduino, ESP32, STM32, Raspberry Pi, y otros microcontroladores
Biblioteca Arduino recomendada	Keypad.h del desarrollador Mark Stanley & Alexander Brevig

**Tabla 6***Especificaciones Técnicas Relé Estado Solido*

Parámetro	Especificación
Modelo del relé	Omron G3MB-202P
Tipo de relé	Estado sólido (SSR)
Voltaje de control (entrada)	5 V DC (compatible con lógica TTL, Arduino, ESP, etc.)
Corriente de control	7.5 – 12.5 mA típicamente
Voltaje de carga (salida)	100 – 240 V AC
Corriente de carga	Hasta 2 A (corriente alterna resistiva)
Frecuencia de operación	50/60 Hz
Aislamiento eléctrico	Óptico (optoacoplador)
Indicador LED	Sí (indica activación del relé)
Tipo de carga	Resistiva (no recomendado para cargas inductivas como motores o transformadores)
Tiempo de respuesta	Conmutación rápida (~1 ms)
Dimensiones del módulo	Aprox. 25 mm × 34 mm × 18 mm
Montaje	Agujeros para tornillos

Compatibilidad

Arduino, Raspberry Pi, STM32, ESP32,  
PLCs, etc.

---

*Nota.* <https://www.openhacks.com/uploadsproductos/g3mb-ssr-datasheet.pdf>

### **Bancos de Carga Simplex Electra**

Es un banco de carga portátil de muy alta capacidad y alto rendimiento, diseñado para proporcionar a fabricantes, distribuidores y usuarios de generadores de CA grandes y sistemas UPS una capacidad sofisticada de prueba.

El modelo Electra proporciona 460 kW, 560 kW o 660 kW de carga resistiva tanto en 240V como en 480V, trifásico. Puede aplicarse a cualquier voltaje de CA entre 480V CA, 50-60-400 Hertz, monofásico o trifásico. La resolución mínima de carga es de 5 kW.

El modelo Electra es un sistema de pruebas totalmente autónomo. Incluye todos los elementos de carga resistiva, dispositivos de protección del circuito del elemento de carga, sistema de cableado de conexión de carga, detección de fallos, fuente de alimentación de control y sistema de instrumentación de pruebas. Este banco de carga portátil totalmente independiente incluye instrumentación de pruebas, cables de conexión, sistema de carga de alta capacidad, elementos de carga robustos.

### **Tabla 7**

#### *Características Principales Bancos de Carga Resistivos*

---

#### Características principales

---

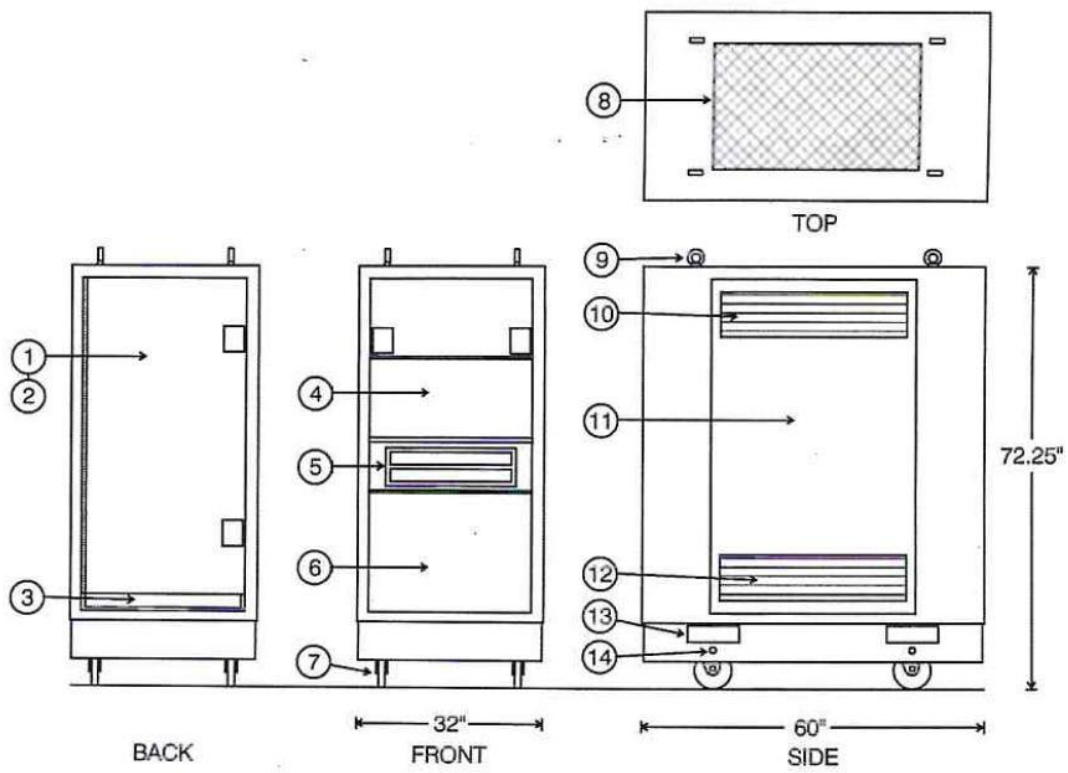
1. Compartimiento de cables detrás de la puerta con bisagras
-

- 
2. Panel de acceso desmontable para acceso a la barra de distribución, fusibles, contactores (compartimiento de cableado oculto)
  3. Entrada de cables (permite cerrar la puerta con los cables conectados)
  4. Instrumentación y controles en la puerta
  5. Bolsillo empotrado con asa
  6. Panel de acceso removible para acceder a barras de distribución, fusibles y contactores
  7. Rodillos traseros (2), con freno, giratorios
  8. Rodillo delantero fijo
  9. Rejilla de escape de aire protegida
  10. Ojos de izaje
  11. Rejillas de ventilación
  12. Panel de acceso desmontable (ambos lados), acceso a las bandejas de elementos de carga tipo "Power-Kleën"
  13. Entrada de aire de refrigeración
  14. Ganchos de elevación alternativos para amarres hacia abajo
- 

*Nota.* <https://www.simplexdirect.com/load-banks/large-portable/electra/details>

**Figura 1**

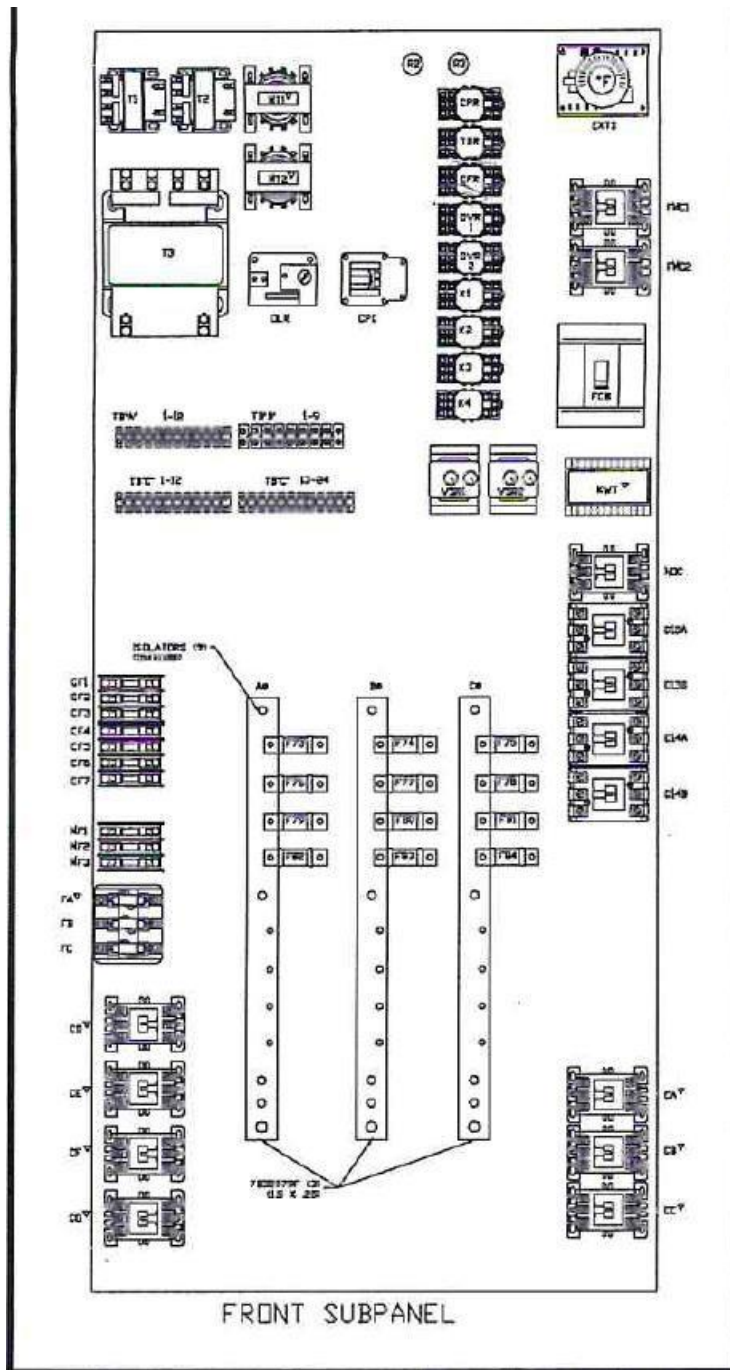
*Características Principales Bancos de Carga Resistivos*



*Nota.* <https://www.simplexdirect.com/load-banks/large-portable/electra/details>

Figura 2

Panel de Potencia Bancos De Carga Resistivos



Nota. <https://www.simplexdirect.com/load-banks/large-portable/electra/details>

## Especificaciones de Requerimientos Funcionales

Las Tablas 8 a 11 presentan de manera estructurada los requerimientos funcionales de los principales componentes electrónicos que conforman el sistema automatizado para pruebas de generadores eléctricos. Estas especificaciones permiten identificar con precisión las funciones clave que debe cumplir cada dispositivo, su importancia relativa o prioridad dentro del sistema, así como las restricciones técnicas asociadas a su operación. Además, se establece el tipo de interacción necesaria, tanto entre los elementos tecnológicos como con el usuario, lo cual es fundamental para asegurar una integración efectiva, segura y funcional del sistema en su conjunto. La definición clara de estos requerimientos constituye un paso esencial para garantizar el correcto desempeño del sistema automatizado, alineado con los objetivos técnicos del proyecto y con los estándares de calidad y confiabilidad requeridos en entornos de prueba eléctrica.

### Tabla 8

#### *Especificaciones de Requerimientos Funcionales Arduino Mega 2560*

Arduino Mega 2560	
Especificación de Requerimientos Funcionales (ERS)	
Identificación del requisito	ERS-001
Nombre del requisito	Gestión y Control de Pruebas
Componente	Arduino Mega 2560
Característica asociada	Microcontrolador
Descripción del requisito	El Arduino Mega 2560 gestiona la activación secuencial de los relés y la

	comunicación I2C con la pantalla LCD, basado en la clave ingresada.
Características	Procesamiento de datos, control de relés, comunicación I2C, control de flujo de pruebas.
Prioridad	Alta/Esencial
Restricciones	Alimentación de 5V. Interfaz compatible con dispositivos I2C.
Interacción humana – tecnología	Sí
Interacción tecnología – tecnología	Sí

---

*Nota.* Elaboración propia.

### **Tabla 9**

#### *Especificaciones de Requerimientos Funcionales Teclado Matricial 4x4*

---

Teclado Matricial 4x4	
Especificación de Requerimientos Funcionales (ERS)	
Identificación del requisito	ERS-002
Nombre del requisito	Introducción de Clave de Selección
Componente	Teclado Matricial 4x4
Característica asociada	Dispositivo de Entrada

Descripción del requisito	Permite al usuario ingresar la clave que selecciona el generador y la carga asignada.
Características	Entrada manual de datos, 16 teclas disponibles, interfaz simple con el microcontrolador.
Prioridad	Alta/Esencial
Restricciones	Compatible con la entrada de datos del Arduino Mega.
Interacción humana – tecnología	Si
Interacción tecnología – tecnología	Si

---

*Nota.* Elaboración propia.

### **Tabla 10**

#### *Especificaciones de Requerimientos Funcionales Pantalla LCD 20x4*

---

Pantalla LCD 20x4 (con interfaz I2C)	
Especificación de Requerimientos Funcionales (ERS)	
Identificación del requisito	ERS-003
Nombre del requisito	Visualización de Datos en Tiempo Real
Componente	Pantalla LCD 20x4 con I2C
Característica asociada	Dispositivo de Salida

Descripción del requisito	Muestra la referencia del generador en prueba, el estado de la prueba, el nivel de carga aplicado y la finalización del proceso.
Características	Visualización clara, interfaz I2C, capacidad de mostrar múltiples líneas de información.
Prioridad	Alta/Esencial
Restricciones	Alimentación de 5V, compatibilidad con protocolo I2C.
Interacción humana – tecnología	Sí
Interacción tecnología – tecnología	Sí

---

*Nota.* Elaboración propia.

### **Tabla 11**

#### *Especificaciones de Requerimientos Funcionales Relés De Estado Solido*

---

Relés de Estado Sólido	
Especificación de Requerimientos Funcionales (ERS)	
Identificación del requisito	ERS-004
Nombre del requisito	Activación de Cargas Resistivas
Componente	Relés de Estado Sólido

Característica asociada	Dispositivo de Control de Potencia
Descripción del requisito	Controlan la activación de las cargas resistivas para los distintos niveles de prueba según la orden del Arduino.
Características	Respuesta rápida, operación silenciosa, control de cargas
Prioridad	Alta/Esencial
Restricciones	Alimentación de 5V DC, manejo adecuado de voltajes de prueba.
Interacción humana – tecnología	No
Interacción tecnología – tecnología	Sí

---

*Nota.* Elaboración propia.

Las imágenes 3 a la 6 muestran la información desplegada en la pantalla LCD 20x4 durante las distintas etapas de prueba del generador. En ellas se visualizan parámetros clave como la potencia activa (kW) y aparente (kVA) del generador, el porcentaje de carga aplicada en cada fase (25%, 50%, 75% y 100%), así como el voltaje (VAC), la corriente y la potencia activa consumida.

**Figura 3**

*Pruebas de Generador 100 KVA con el 25% de Carga*



*Nota.* elaboración propia.

**Ilustración 4**

*Pruebas de Generador 100 KVA con el 50% de Carga*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 5**

*Pruebas de Generador 100 KVA con 75% de Carga*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 6**

*Pruebas de Generador 100 KVA con el 100% de Carga*



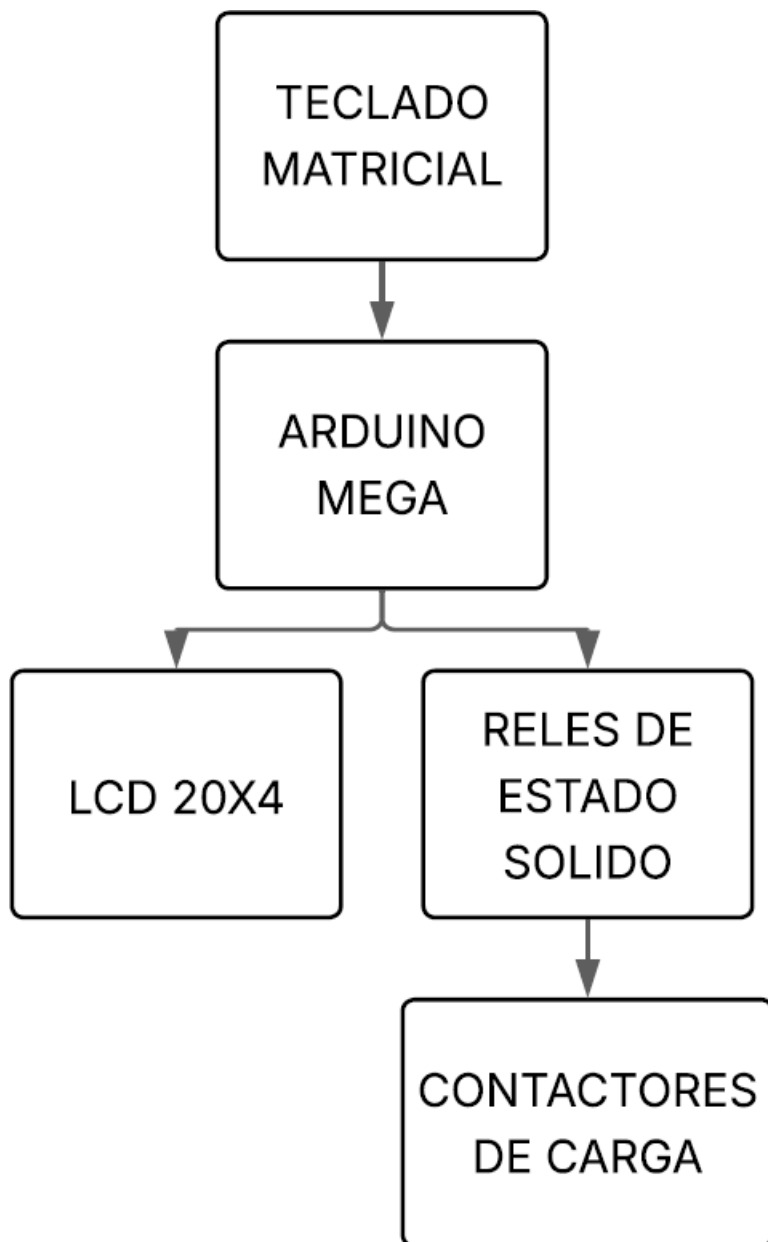
*Fuente.* Elaboración propia.

## **Diseño Funcional de la Infraestructura de Hardware**

El diseño funcional de la infraestructura de hardware se orienta a la creación de un sistema automatizado para la realización de pruebas en generadores eléctricos, con el objetivo de garantizar la confiabilidad y eficiencia operativa de dichos equipos. Este sistema se estructura a partir de una plataforma de control centralizada, basada en el microcontrolador Arduino Mega 2560, el cual se encarga de gestionar la selección del generador bajo prueba y de activar de forma secuencial cargas resistivas equivalentes al 25%, 50%, 75% y 100% de su capacidad nominal.

Dicha infraestructura incluye componentes clave como relés de estado sólido, una pantalla LCD 20x4 para la visualización de datos, un teclado matricial para la selección del generador a probar, y sistemas de protección eléctrica. La integración adecuada de estos dispositivos permite aplicar cargas progresivas de manera segura y controlada, monitorear variables eléctricas como voltaje, corriente y potencia activa, y registrar el comportamiento del generador en diferentes condiciones de carga.

Este diseño funcional sienta las bases para una operación precisa, repetible y trazable de los ensayos, facilitando la comparación objetiva de resultados y contribuyendo al mantenimiento preventivo y la validación del estado de los generadores.

**Figura 7***Diagrama de Bloques*

*Nota.* Elaboración propia.

### *Caracterización de los Dispositivos*

Esta sección describe las funciones y características técnicas de los principales componentes utilizados en el sistema automatizado de pruebas, destacando su papel en el control, monitoreo y ejecución eficiente del proceso. La selección de cada dispositivo se basó en criterios de compatibilidad, precisión y fiabilidad.

**Microcontrolador Arduino Mega 2560.** Constituye el núcleo del sistema de control. Su capacidad de procesamiento y amplia cantidad de pines digitales permiten gestionar múltiples señales de entrada y salida, lo cual es esencial para la coordinación de los procesos de selección del generador, activación de cargas y monitoreo de variables.

#### **Figura 8**

*Arduino Mega*



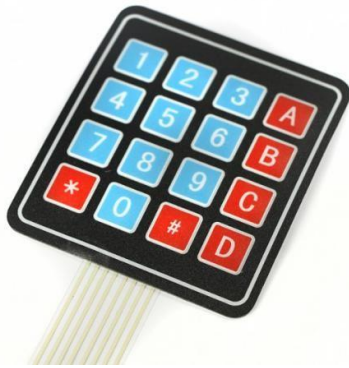
*Nota.* <https://dualtronica.com/tarjetas-desarrollo/222-arduino-mega-2560-r3.html>.

**Teclado Matricial: 4x4.** Dispositivo de entrada compuesto por 16 teclas dispuestas en una matriz de 4 filas por 4 columnas, que permite al usuario interactuar con el sistema introduciendo una clave de seguridad. Esta clave habilita la selección del generador en prueba

y determina el nivel de carga resistiva a aplicar. Su integración facilita una operación segura, controlada y personalizada del sistema automatizado.

### Figura9

*Teclado matricial 4x4*



*Nota.* [https://www.merkatronix.com/index.php?id\\_product=1102&controller=product](https://www.merkatronix.com/index.php?id_product=1102&controller=product).

**Pantalla LCD 20x4 con interfaz I2C.** Dispositivo de salida que permite la visualización clara y organizada de información relevante durante el desarrollo de las pruebas. Su configuración de 20 caracteres por 4 líneas, junto con la interfaz I2C, optimiza el uso de pines del microcontrolador y simplifica el cableado. En este proyecto, la pantalla muestra datos como el estado del generador, niveles de carga aplicados, parámetros eléctricos y mensajes de confirmación o advertencia para el operador.

### Figura 10

*Pantalla LCD 20x4*



*Nota.* <https://electronilab.co/tienda/display-lcd-20x4-con-backlight-azul/>.

**Relés de Estado Sólido.** Dispositivos electrónicos encargados de controlar, de manera precisa y segura, la activación y desactivación de los contactores de potencia que conmutan las cargas resistivas en los distintos niveles (25%, 50%, 75% y 100%). Al no tener partes móviles, ofrecen una mayor durabilidad, menor desgaste mecánico y tiempos de conmutación más rápidos en comparación con los relés electromecánicos. Además, proporcionan aislamiento eléctrico entre el microcontrolador y las cargas, lo que mejora la protección del sistema de control frente a posibles sobrecargas o interferencias.

### Figura 11

*Relé estado solido*



*Nota.* <https://www.compelectronica.com/product/modulo-de-rele-de-estado-solido-de-5vdc-un-canal-carga-de-240v-2a-shrele/>.

**Banco de Carga Resistivo.** El sistema cuenta con dos bancos de carga resistivos, uno de 150 kW y otro de 450 kW, diseñados para someter a los generadores eléctricos a diferentes niveles de exigencia operativa. Estos bancos permiten disipar la energía eléctrica en forma de calor mediante resistencias de alta potencia, simulando condiciones reales de funcionamiento. La aplicación de la carga se realiza de forma escalonada (25%, 50%, 75% y

100%) y es controlada automáticamente por el sistema, garantizando precisión, seguridad y repetibilidad en cada prueba. Su integración permite evaluar el rendimiento, la estabilidad y la capacidad de respuesta del generador frente a variaciones de carga.

### **Figura 12**

#### *Resistencias de Potencia*



*nota.* <https://www.wattco.com/es/2018/04/detallada-a-los-bancos-de-carga/>.

#### ***Alimentación***

El sistema requiere fuentes de energía adecuadas para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. Esta sección describe los niveles de voltaje necesarios para el microcontrolador, los relés de estado sólido y los bancos de carga, asegurando la compatibilidad entre los elementos de control y las cargas de alta potencia.

**Alimentación Microcontrolador.** Opera con un voltaje de alimentación de 5V, suministrado mediante un adaptador externo o a través del puerto USB. Este voltaje es esencial para el funcionamiento estable del microcontrolador y de los periféricos conectados al sistema de control.

**Alimentación Relés de Estado Sólido.** Funcionan con una alimentación de 5V DC proveniente del sistema de control, y permiten la conmutación segura y rápida de las cargas

resistivas sin partes mecánicas móviles, lo que incrementa la durabilidad y confiabilidad del sistema.

**Alimentación Banco de Carga.** Se alimenta directamente desde el generador en prueba, adaptándose a diferentes niveles de tensión según su capacidad de salida. Soporta rangos de voltaje comunes como 120V–240V, 127V–220V y 254V–440V, lo que permite evaluar generadores de distintas potencias. Esta versatilidad garantiza una correcta aplicación de carga en condiciones reales de operación.

### ***Visualización***

La pantalla LCD 20x4 con interfaz I2C está diseñada para proporcionar al operador una visualización clara, en tiempo real y organizada del estado del sistema durante la ejecución de las pruebas automatizadas. Su implementación permite una interacción directa y precisa con la plataforma basada en Arduino Mega 2560, sin necesidad de herramientas externas.

Durante la prueba, la pantalla muestra de forma dinámica la siguiente información:

- Identificación del generador seleccionado: Nombre o código del generador activo, según la clave ingresada.
- Potencia nominal del generador: Valor en kilovatios (kW), útil para validar la distribución de carga asignada.
- Voltaje de operación: Valor en voltios (V) correspondiente a la fase de prueba activa.

- Corriente por etapa: Amperaje en tiempo real asociado a cada nivel de carga (25 %, 50 %, 75 %, 100 %).
- Nivel de carga actual: Indicación de la carga resistiva conectada mediante relés de estado sólido.
- Estado del proceso: Fases de la prueba (inicialización, carga progresiva, estabilización, finalización).

Este sistema de visualización no solo proporciona información técnica, sino que también mejora la trazabilidad del proceso y la seguridad operativa al facilitar una toma de decisiones informada en tiempo real. La interfaz puede ser modificada o ampliada según futuras necesidades del sistema o actualizaciones de firmware.

### ***Control***

El sistema de control está basado en un microcontrolador Arduino Mega 2560, el cual se encarga de gestionar de forma automatizada y secuencial la activación de los relés de estado sólido, que conectan o desconectan las etapas resistivas del banco de carga durante la prueba del generador.

El proceso de control opera bajo las siguientes condiciones:

- Validación de identidad: La prueba inicia únicamente tras el ingreso correcto de una clave predefinida a través del teclado matricial, lo que garantiza seguridad y trazabilidad.

- **Activación secuencial:** El Arduino ejecuta la activación progresiva de las etapas de carga (25 %, 50 %, 75 % y 100 %) según un protocolo definido, adaptado a la capacidad del generador en prueba.
- **Tiempos programados:** Cada nivel de carga tiene un tiempo de permanencia preestablecido de 2.5 minutos en el código fuente del microcontrolador, lo cual asegura uniformidad y repetibilidad en las pruebas.
- **Desactivación automática:** Una vez finalizado el último ciclo de carga, el sistema desactiva todas las etapas de forma segura y muestra un mensaje de finalización en la pantalla LCD.

### ***Protocolo de Comunicación***

El sistema emplea el protocolo de comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit) para establecer una conexión eficiente entre el Arduino Mega y la pantalla LCD 20x4 mediante un módulo adaptador I2C, lo que reduce considerablemente la cantidad de pines utilizados en el microcontrolador.

### ***Validación del Sistema***

Para validar el sistema automatizado, se compararon los resultados obtenidos con pruebas manuales previas, verificando la precisión en la activación de cargas y la correspondencia de datos eléctricos. Se analizaron distintos escenarios operativos para evaluar la estabilidad del sistema, incluyendo variaciones en el suministro del generador. Los resultados confirmaron un desempeño confiable, tiempos de respuesta adecuados y una visualización clara de la información en cada etapa de la prueba.

## Lógica de Control y Estructura del Código Implementado

```
#include <Keypad.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h> //

#include <avr/wdt.h>

#define RELAY_ON 0

#define RELAY_OFF 1
```

Estas líneas de código incluyen librerías y definen constantes que permiten el funcionamiento de un sistema con teclado, pantalla LCD y relé en Arduino. La librería Keypad.h se utiliza para gestionar la lectura de teclas desde un teclado matricial; LiquidCrystal\_I2C.h permite controlar una pantalla LCD utilizando la interfaz I2C, lo que simplifica la conexión al usar solo dos pines; y avr/wdt.h habilita el uso del temporizador de vigilancia (Watchdog Timer), que reinicia el microcontrolador en caso de que el programa se bloquee. Finalmente, las macros RELAY\_ON y RELAY\_OFF definen los valores lógicos que encienden y apagan un relé, respectivamente, considerando que muchos módulos se activan con un nivel bajo (0) y se desactivan con un nivel alto (1).

```
int contador = 0;
```

```
String clave = "0000";
```

```
char pulsacion = '#';
```

```
String claves_validas[] = {"ABCD", "2006", "2013", "2015", "2017", "2020", "2024",  
"2028", "2032", "2040", "2045", "2050", "2060", "2075", "2100", "2120", "2125",
```

```
"2135", "2150", "2165", "2175", "2200", "2225", "2250","2275", "2300", "2350",
"2375","2400", "2440", "2500", "2625", "2650", "2700", "2750",
"2800","1013","1006","1020","1022",
"1033","1050","1067","1080","4032","4045","4050","4060","4075","4100","4120",
"4135","4150","4175","4200","4225","4250","4275","4300","4350","4375","4400",
"4440","4500","4625","4650","4700","4750","4800",    };
```

Estas líneas de código configuran las variables iniciales para el sistema de autenticación o control mediante claves numéricas o alfanuméricas introducidas a través del teclado.

Se declara una variable entera llamada contador e inicialmente se establece en cero, para contar intentos, pulsaciones o intentos fallidos. Luego se define una variable clave de tipo String con el valor inicial "0000", que servirá para almacenar la clave introducida por el usuario. La variable pulsacion, de tipo char, se inicializa con el carácter '#', usado como tecla especial para confirmar o enviar la clave.

Posteriormente, se declara un arreglo de cadenas de texto llamado claves\_validas, que contiene múltiples claves numéricas permitidas. Estas claves serán comparadas con la clave introducida por el usuario para determinar si el acceso es válido. El sistema usará este arreglo para verificar si la clave ingresada coincide con alguna de las que están predefinidas como válidas.

```
const byte ROWS = 4;
```

```
const byte COLS = 4;
```

```
byte rowPins[ROWS] = {2, 3, 4, 5}; // esta es la conexión en la que conectamos los
pines del teclado a la placa Arduino
```

```
byte colPins[COLS] = {6, 7, 8, 9}; // esta es la conexión en la que conectamos los
pines del teclado a la placa Arduino
```

```
char teclas [ROWS][COLS] =
```

```
{
    {'1', '2', '3', 'A'},
    {'4', '5', '6', 'B'},
    {'7', '8', '9', 'C'},
    {'*', '0', '#', 'D'},
};
```

Se definen dos constantes ROWS y COLS con valores de 4 cada una, lo que indica que el teclado matricial tiene 4 filas y 4 columnas, es decir, 16 teclas en total (como un teclado numérico completo con letras o funciones adicionales).

Luego se declara un arreglo llamado rowPins que contiene los pines 2, 3, 4 y 5. Estos son los pines del Arduino a los que se conectan físicamente las 4 filas del teclado.

De forma similar, se declara el arreglo colPins con los pines 6, 7, 8 y 9, que corresponden a las 4 columnas del teclado.

Esta configuración es fundamental para que la librería Keypad.h sepa cómo está conectado el teclado y pueda leer correctamente qué tecla ha sido presionada, escaneando las filas y columnas.

```
//INICIA BANCO 1
```

```
digitalWrite (53, RELAY_ON);
```

```
digitalWrite (38, RELAY_OFF);
```

```
digitalWrite (51, RELAY_ON);
```

```
digitalWrite (36, RELAY_OFF);
```

```
digitalWrite (34, RELAY_OFF);
```

```
digitalWrite (46, RELAY_OFF);
```

```
digitalWrite (44, RELAY_OFF);
```

```
digitalWrite (42, RELAY_OFF);
```

```
digitalWrite (40, RELAY_OFF);
```

```
digitalWrite (28, RELAY_ON);
```

```
digitalWrite (26, RELAY_ON);
```

```
pinMode (53, OUTPUT);// SUICHE5 36 kW 94.48A
```

```
pinMode (38, OUTPUT);// SUICHE3 4.5 kW 11.81 A
```

```
pinMode (51, OUTPUT);// SUICHE4 36 kW 94.48 A
```

```
pinMode (36, OUTPUT);// SUICHE2 2.2 kW 5.77 A
```

```
pinMode (34, OUTPUT);// SUICHE1 1.1kW 2.88 A,  
  
pinMode (46, OUTPUT);// SUICHE8 EXT  
  
pinMode(44, OUTPUT);// SUICHE11 9.1kW 52A  
  
pinMode(42, OUTPUT);// SUICHE11 9.1kW 52A  
  
pinMode(40, OUTPUT);// SUICHE11 9.1kW 52A  
  
pinMode (28, OUTPUT);// SUICHE7 ON  
  
pinMode (26, OUTPUT);// SUICHE6 36 kW 94.48 A  
  
// TERMINA BANCO 1  
  
//INICIA BANCO 2  
  
digitalWrite (49, RELAY_OFF);  
  
digitalWrite (47, RELAY_OFF);  
  
digitalWrite (45, RELAY_OFF);  
  
digitalWrite (43, RELAY_OFF);  
  
digitalWrite (41, RELAY_OFF);  
  
digitalWrite (39, RELAY_OFF);  
  
digitalWrite (37, RELAY_OFF);  
  
digitalWrite (35, RELAY_OFF);  
  
digitalWrite (33, RELAY_OFF);
```

```
digitalWrite (32, RELAY_ON);

digitalWrite (31, RELAY_OFF);

digitalWrite (30, RELAY_ON);

pinMode(49, OUTPUT);// SUICHE9 5 kW 13A

pinMode(47, OUTPUT);// SUICHE10 10 kW 26A

pinMode(45, OUTPUT);// SUICHE11 20 kW 52A

pinMode(43, OUTPUT);// SUICHE12 25 kW 65.61A

pinMode(41, OUTPUT);// SUICHE13 50 kW 131.23A

pinMode(39, OUTPUT);// SUICHE14 50 kW 131.23A

pinMode(37, OUTPUT);// SUICHE15 100 kW 262.46A

pinMode(35, OUTPUT);// SUICHE16 100kW 262.46A

pinMode(33, OUTPUT);// SUICHE17 100kW 262.46A

pinMode(32, OUTPUT);// ON

pinMode(31, OUTPUT);// EXT

pinMode(30, OUTPUT);// ON

// TERMINA BANCO 2

Serial.println ("Empezamos");

lcd.setCursor (4, 1);
```

```
lcd.print ("!BIENVENIDO!");  
  
lcd.setCursor (2, 2);  
  
lcd.print ("INGRESA LA CLAVE");  
  
}
```

Este bloque de código corresponde a la función `setup()` del programa Arduino. Se encarga de inicializar los componentes y definir el estado inicial de los pines antes de que comience a ejecutarse el bucle principal `loop()`.

```
void menu_1() {  
  
  lcd.clear();  
  
  lcd.setCursor (5, 1);  
  
  lcd.print ("ESTA CLAVE");  
  
  lcd.setCursor (5, 2);  
  
  lcd.print ("ES VALIDA");  
  
  delay(r);  
  
  lcd.clear();  
  
  lcd.setCursor (3, 1);  
  
  lcd.print ("TEST GENERADOR");  
  
  lcd.setCursor (2, 2);  
  
  lcd.print ("10.4 kW");  
}
```

```
lcd.setCursor(12, 2);

lcd.print("13 kVA");

delay(r);

  lcd.clear();

lcd.setCursor (2, 0);

lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");

delay(1000);

lcd.setCursor (10, 2);

lcd.print ("9");

lcd.setCursor (2, 0);

lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");

delay(1000);

lcd.setCursor (10, 2);

lcd.print ("8");

lcd.setCursor (2, 0);

lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");

delay(1000);

lcd.setCursor (10, 2);
```

```
lcd.print ("7");  
  
lcd.setCursor (2, 0);  
  
lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");  
  
delay(1000);  
  
lcd.setCursor (10, 2);  
  
lcd.print ("6");  
  
lcd.setCursor (2, 0);  
  
lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");  
  
delay(1000);  
  
lcd.setCursor (10, 2);  
  
lcd.print ("5");  
  
  
  
lcd.setCursor (2, 0);  
  
lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");  
  
delay(1000);  
  
lcd.setCursor (10, 2);  
  
lcd.print ("4");  
  
lcd.setCursor (2, 0);
```

```
lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");  
  
delay(1000);  
  
lcd.setCursor (10, 2);  
  
lcd.print ("3");  
  
lcd.setCursor (2, 0);  
  
lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");  
  
delay(1000);  
  
lcd.setCursor (10, 2);  
  
lcd.print ("2");  
  
lcd.setCursor (2, 0);  
  
lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");  
  
delay(1000);  
  
lcd.setCursor (10, 2);  
  
lcd.print ("1");  
  
lcd.setCursor (2, 0);  
  
lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");  
  
delay(1000);  
  
lcd.setCursor (10, 2);
```

```
lcd.print ("0");

lcd.setCursor (5, 1);

lcd.print ("START TEST");

lcd.clear();

lcd.setCursor (2, 0);

lcd.print ("ARRANQUE PRUEBA");

delay(1000);

lcd.setCursor (6, 2);

lcd.print ("GEN RUN");

delay (1000);

}

/////Accion 1/////

void accion_1() {

digitalWrite(48, RELAY_ON); delay (40000);lcd.clear();lcd.setCursor (0,
0);lcd.print ("GEN");lcd.setCursor (6, 0);lcd.print ("10 kW");lcd.setCursor(13,
0);lcd.print("13 kVA");

lcd.setCursor (0, 1); lcd.print ("LOAD");lcd.setCursor (6, 1); lcd.print ("0
%");lcd.setCursor (13, 1); lcd.print ("220 VAC");
```

```
digitalWrite(28, RELAY_OFF); delay (p); digitalWrite(46, RELAY_ON);delay
(p);digitalWrite(34,RELAY_ON);delay (p);digitalWrite(36, RELAY_ON);

lcd.setCursor (0, 3); lcd.print ("GENERADOR CARGADO");lcd.setCursor (6, 1);
lcd.print ("25 %");

lcd.setCursor (0, 2); lcd.print ("9 A");lcd.setCursor (6, 2); lcd.print ("3.3 kW");

delay (150000);// TIEMPO PRUEBA 2.5 min

digitalWrite(34, RELAY_OFF); delay (p); digitalWrite(36, RELAY_OFF);

lcd.clear();lcd.setCursor (0, 0);lcd.print ("GEN ");lcd.setCursor (6, 0);lcd.print ("10
kW");lcd.setCursor(13, 0);lcd.print("13 kVA");

lcd.setCursor (0, 1); lcd.print ("LOAD");lcd.setCursor (6, 1); lcd.print ("0
%");lcd.setCursor (13, 1); lcd.print ("220 VAC");

digitalWrite (38, RELAY_ON); delay(p);digitalWrite (34, RELAY_ON);

lcd.setCursor (0, 3); lcd.print ("GENERADOR CARGADO");lcd.setCursor (6, 1);
lcd.print ("50 %");

lcd.setCursor (0, 2); lcd.print ("15 A");lcd.setCursor (6, 2); lcd.print ("5.6 kW");

delay (150000);// TIEMPO PRUEBA 2.5 min

digitalWrite (38, RELAY_OFF); delay(p);digitalWrite (34, RELAY_OFF);

lcd.clear();lcd.setCursor (0, 0);lcd.print ("GEN");lcd.setCursor (6, 0);lcd.print ("10
kW");lcd.setCursor(13, 0);lcd.print("13 kVA");
```

```
lcd.setCursor (0, 1); lcd.print ("LOAD");lcd.setCursor (6, 1); lcd.print ("0
%");lcd.setCursor (13, 1); lcd.print ("220 VAC");
```

```
digitalWrite (34, RELAY_ON);delay(p);digitalWrite (36,
RELAY_ON);delay(p);digitalWrite (38, RELAY_ON);
```

```
lcd.setCursor (0, 3); lcd.print ("GENERADOR CARGADO");lcd.setCursor (6, 1);
lcd.print ("75 %");
```

```
lcd.setCursor (0, 2); lcd.print ("20 A");lcd.setCursor (6, 2); lcd.print ("7.8 kW");
```

```
delay (150000);// TIEMPO PRUEBA 2.5 min
```

```
digitalWrite(34, RELAY_OFF); delay (p); digitalWrite(36, RELAY_OFF);delay
(p);digitalWrite(38, RELAY_OFF);
```

```
lcd.clear();lcd.setCursor (0, 0);lcd.print ("GEN");lcd.setCursor (6, 0);lcd.print ("10
kW");lcd.setCursor(13, 0);lcd.print("13 kVA");
```

```
lcd.setCursor (0, 1); lcd.print ("LOAD");lcd.setCursor (6, 1); lcd.print ("0
%");lcd.setCursor (13, 1); lcd.print ("220 VAC");
```

```
digitalWrite (44, RELAY_ON);delay(p);digitalWrite (34, RELAY_ON);
```

```
lcd.setCursor (0, 3); lcd.print ("GENERADOR CARGADO");lcd.setCursor (6, 1);
lcd.print ("100 %");
```

```
lcd.setCursor (0, 2); lcd.print ("27 A");lcd.setCursor (6, 2); lcd.print ("10.2 kW");
```

```
delay (150000);// TIEMPO PRUEBA 2.5 min
```

```
digitalWrite(44, RELAY_OFF); delay (p); digitalWrite(34, RELAY_OFF);delay  
(p);
```

```
lcd.clear();lcd.setCursor (0,1); lcd.print ("GENERADOR DESCARGADO");delay  
(40000);digitalWrite(46, RELAY_OFF);delay (p);digitalWrite (28,  
RELAY_ON);delay (p);digitalWrite(48, RELAY_OFF);
```

```
lcd.clear();
```

```
delay (500);
```

```
lcd.setCursor (3, 0);
```

```
lcd.print ("PRUEBA EXITOSA");
```

```
lcd.setCursor(4, 1);
```

```
lcd.print("FELICIDADES");
```

```
lcd.setCursor (3, 2);
```

```
lcd.print ("PARA UNA NUEVA");
```

```
lcd.setCursor(2, 3);
```

```
lcd.print("PRUEBA,RUN STAR");
```

```
delay (10000);
```

```
lcd.clear();
```

```
lcd.createChar (6, cara);
```

```
lcd.setCursor(0, 0);
```

```
lcd.print(" *HASTA PRONTO* ");  
  
lcd.clear();  
  
lcd.setCursor(6, 1);  
  
lcd.print("RUN STAR");  
  
lcd.setCursor(10, 2);  
  
lcd.write (byte (6));  
  
exit (0);  
  
}
```

El código implementa una interfaz en LCD y un sistema de control para automatizar la conexión secuencial de bancos de carga resistivos durante pruebas en generadores eléctricos. La función `menu_1()` muestra mensajes de validación, datos del generador y realiza una cuenta regresiva antes de iniciar la prueba. La función `accion_1()` activa distintos niveles de carga (25%, 50%, 75% y 100%) mediante relés de estado sólido, manteniéndolos durante 2.5 minutos cada uno

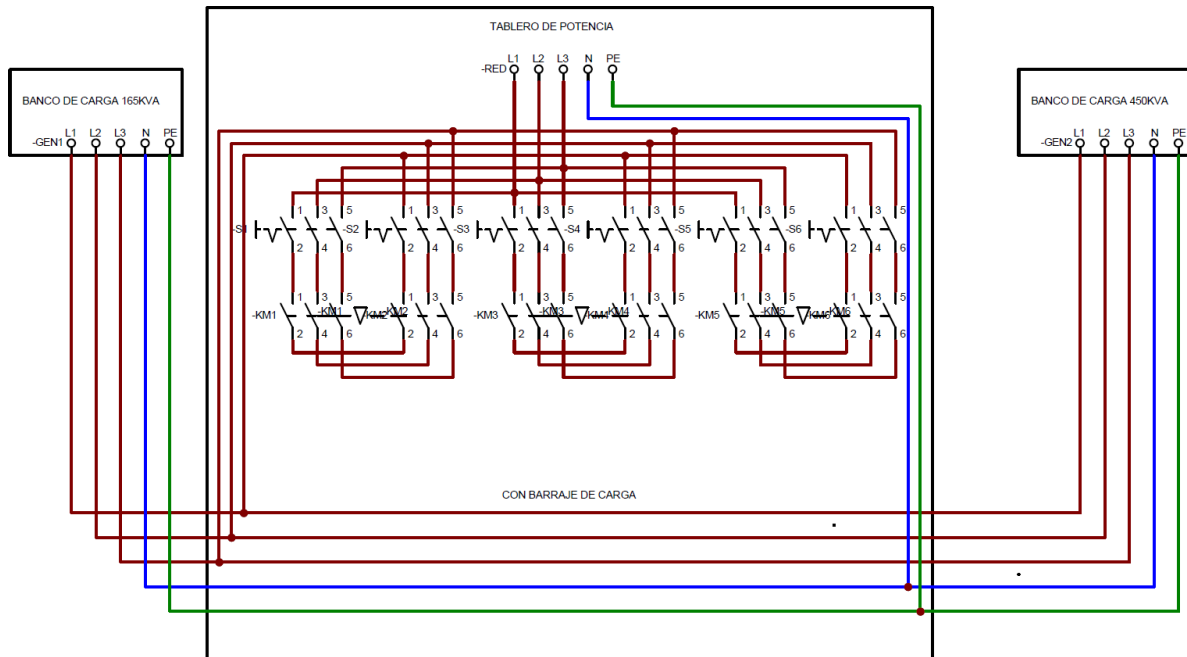
### **Interior Tablero de Potencia Bancos de Carga Resistivos**

En la vista interior del tablero de potencia de los bancos de carga resistivos se observa el barraje trifásico de carga, diseñado para una capacidad de 2.000 amperios, al cual se conectan los generadores durante las pruebas. Adicionalmente, en la parte superior del tablero se encuentran instalados los contactores que controlan los tres extractores encargados

de evacuar el aire caliente generado en el cuarto de pruebas, garantizando una adecuada ventilación y seguridad térmica durante el proceso.

**Figura 13**

*Circuito Tablero Potencia Bancos de Carga Resistivos*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 14**

*Vista interior Tablero Potencia Bancos de Carga Resistivos*



*Nota.* Elaboración propia.

**Panel Frontal Tablero Control Bancos de Carga Resistivos**

En la vista del panel frontal del tablero de control de los bancos de carga resistivos, se observan en la parte superior los indicadores LED que muestran el estado de encendido de los extractores del cuarto de pruebas. Justo debajo de estos LED se encuentra el pulsador de paro general para los extractores. A continuación, se ubican los pulsadores de encendido,

organizados por extractor: cada uno cuenta con dos pulsadores, uno para activar el extractor mediante la red comercial y otro para activarlo utilizando la energía del generador en prueba.

Debajo de los pulsadores de encendido se encuentran tres selectores rotativos que definen el modo de operación de cada extractor, permitiendo seleccionar entre red comercial (posición izquierda) o alimentación desde el generador (posición derecha).

En esa misma línea se ubican dos selectores adicionales, uno para cada banco de carga resistivo, que determinan el modo de trabajo del sistema de cargas. Al seleccionar la posición izquierda se habilita el modo manual, permitiendo al operario activar los selectores de carga y los extractores de manera directa. En la posición derecha se activa el modo automático, anulando completamente el control manual. En este modo, es necesario ingresar una clave mediante el teclado matricial, asociada al generador que se va a probar. Una vez validada la clave, el sistema ejecuta de forma secuencial la activación de las cargas resistivas en cuatro etapas.

Durante el proceso, la pantalla LCD presenta de forma informativa los valores de voltaje, potencia activa (kW), potencia aparente (kVA), corriente (A) y el porcentaje de carga correspondiente a cada etapa. Esta visualización permite al usuario monitorear el estado del generador de manera clara y oportuna durante el desarrollo de la prueba.

**Figura 15**

*Panel Frontal Tablero Control Bancos de Carga Resistivos*



*Nota.* Elaboración propia.

### **Interior Tablero Control Bancos de Carga Resistivos**

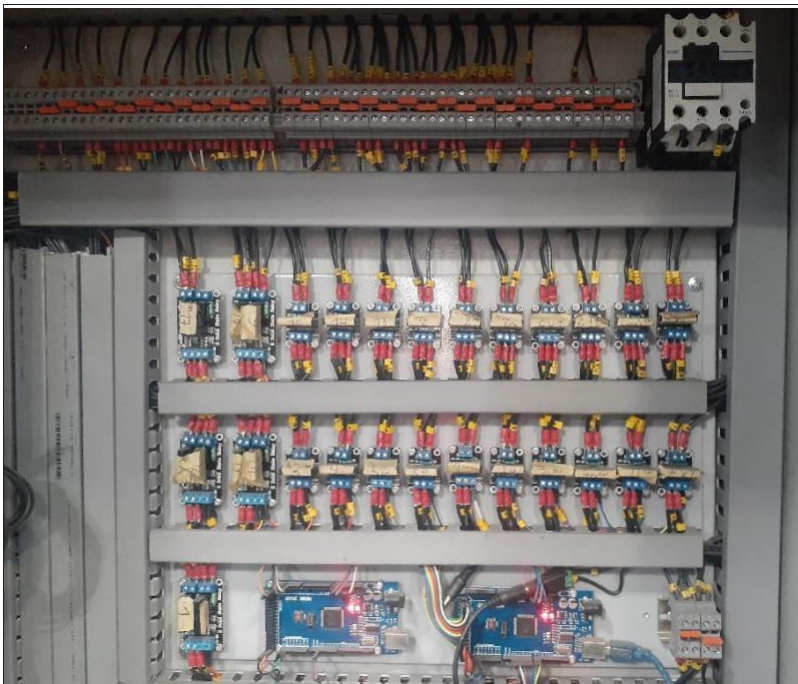
En la parte superior del tablero se encuentran las borneras seccionables, donde se realiza la conexión de los cables provenientes de los selectores de los bancos de carga para el modo de activación manual, así como los cables de control provenientes de los relés de estado sólido utilizados en el modo automático. Estas borneras permiten una conexión segura, organizada y fácilmente identificable para ambos modos de operación.

A la derecha, en la parte superior del tablero, se localiza un contactor destinado al accionamiento del extractor de uno de los bancos de carga, el cual garantiza una ventilación eficiente durante la operación.

Debajo de las canaletas, que canalizan y organizan el cableado interno, se encuentran los relés de estado sólido encargados de accionar las cargas resistivas cuando el sistema opera en modo automático. A continuación, se ubica el microcontrolador Arduino, el cual gestiona la lógica de control, el procesamiento de las señales y la activación secuencial de las cargas, garantizando la ejecución precisa de las pruebas programadas.

### **Ilustración 16**

*Interior Tablero de Control Bancos de Carga Resistivos*



*Nota.* Elaboración propia.

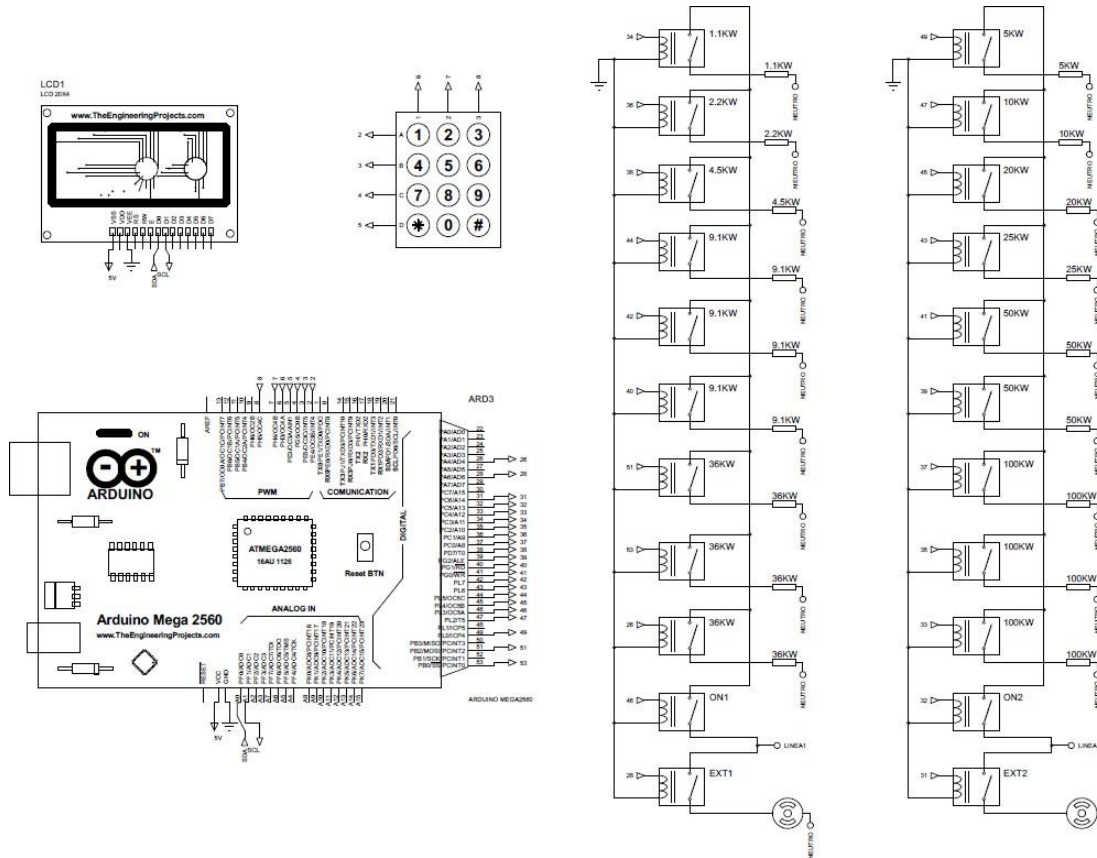
### **Circuito Control en Proteus Bancos de Carga Resistivos**

El circuito mostrado en la imagen corresponde al diseño del sistema automatizado para pruebas de generadores eléctricos, implementado en el simulador Proteus 8 Professional. Este sistema está basado en el microcontrolador Arduino Mega 2560, que actúa como unidad central de control. A la izquierda del diseño se encuentra una pantalla LCD 20x4 con interfaz I2C, encargada de mostrar en tiempo real los datos del generador en prueba, como el nivel de carga aplicado, los parámetros eléctricos y el estado general del proceso. Justo encima se ubica un teclado matricial 4x4, mediante el cual el operario digita una clave de acceso que permite seleccionar el generador a probar y activar la secuencia de carga correspondiente. En el lado derecho del circuito se visualizan los relés de estado sólido organizados verticalmente, con resistencias de potencia que simulan las cargas eléctricas. Estos relés son activados secuencialmente por el Arduino de acuerdo con la clave ingresada, permitiendo así una aplicación progresiva de carga sobre el generador.

Es importante aclarar que lo desarrollado en Proteus corresponde únicamente al esquema del sistema automatizado, pero no se realizó la simulación funcional en el simulador, ya que la validación previa del código y la lógica de control se llevó a cabo directamente en una protoboard utilizando LEDs en lugar de relés, con el fin de verificar el comportamiento del sistema antes de su implementación definitiva. Esto permitió comprobar el funcionamiento secuencial y lógico del programa en condiciones controladas, sin depender de las limitaciones del entorno de simulación.

**Figura 17**

*Circuito Control en Proteus Bancos de Carga Resistivos*



*Nota.* Elaboración propia.

## **Análisis de Resultados**

Con el propósito de evaluar el comportamiento eléctrico de los generadores sometidos a prueba, se realizó un análisis detallado de los datos obtenidos durante la ejecución de los protocolos en modo manual y automático. La comparación entre ambos métodos permite identificar ventajas en términos de eficiencia, precisión y trazabilidad del sistema automatizado frente al proceso tradicional. Asimismo, los datos recolectados permiten validar el correcto funcionamiento del sistema de control, su capacidad de respuesta en tiempo real y su estabilidad operativa en diferentes escenarios de carga.

## **Estandarización de Procedimientos de Prueba**

Con el objetivo de garantizar la consistencia, repetibilidad y confiabilidad en la evaluación del desempeño de los generadores, se estableció protocolos operativos estandarizados para la ejecución de las pruebas. Estos incluirán la secuencia programada de activación de cargas resistivas, los parámetros eléctricos a monitorear (como tensión, corriente, frecuencia y potencia), los tiempos de respuesta esperados y los criterios de validación de resultados.

Los procedimientos definidos estarán alineados con normativas técnicas vigentes, particularmente la IEEE 115-2019, que establece los métodos recomendados para la prueba de máquinas rotatorias. Esta estandarización permitirá no solo mejorar la trazabilidad y la comparabilidad de los ensayos, sino también asegurar que las condiciones de prueba se mantengan dentro de rangos seguros y técnicamente justificables. Se aplican cargas resistivas en niveles progresivos de 25%, 50%, 75% y 100% de la capacidad del generador, cada nivel de carga se mantiene activo durante 2.5 minutos.

### **Validación en Condiciones Controladas**

Previo a su implementación en entornos operativos reales, el sistema fue sometido a una evaluación exhaustiva en un entorno de pruebas controlado, diseñado para simular diversas condiciones de carga y operación. Esta fase permitirá verificar de manera sistemática el comportamiento dinámico del sistema, su precisión en la activación secuencial de cargas resistivas, y su capacidad de respuesta frente a variaciones en los parámetros eléctricos.

Asimismo, se evaluarán aspectos críticos como la estabilidad del sistema, la integridad de los datos medidos, la fiabilidad del control automático y el cumplimiento de las condiciones de seguridad operativa. La validación bajo estas condiciones controladas garantizará que el sistema esté debidamente calibrado y preparado para enfrentar escenarios reales con un alto nivel de confiabilidad y eficiencia.

### **Consideraciones Técnicas y de Seguridad**

Con el objetivo de asegurar una operación eficiente, segura y conforme a estándares técnicos, se definen a continuación las consideraciones técnicas y de seguridad que deben ser tenidas en cuenta durante el diseño, la implementación y la ejecución del sistema. Estas consideraciones abarcan tanto aspectos eléctricos como mecánicos, normativos y operativos, y buscan minimizar riesgos para los equipos, el entorno de prueba y el personal involucrado. Asimismo, se contemplan medidas preventivas para garantizar la integridad del sistema ante posibles fallas, sobrecargas o errores de operación.

#### ***Entorno de Pruebas Controlado***

Las pruebas se llevan a cabo en un cuarto insonorizado, especialmente diseñado para mitigar el nivel de ruido producido por los generadores y bancos de carga durante su

operación. Este aislamiento acústico no solo protege al personal de una exposición prolongada a niveles sonoros potencialmente perjudiciales, sino que también contribuye a un entorno de trabajo más seguro y enfocado, favoreciendo la concentración durante el monitoreo, la recolección de datos y la toma de decisiones durante las pruebas.

### ***Botón de paro de Emergencia (E-STOP)***

El sistema incorpora un botón de parada de emergencia (E-STOP) instalado estratégicamente en el panel frontal del tablero de control, de fácil acceso para el operador. Al ser accionado, interrumpe de manera inmediata el proceso de prueba, desconectando todas las cargas resistivas y deshabilitando el sistema de control y monitoreo. Esta función garantiza una respuesta rápida y eficaz ante situaciones anómalas o condiciones potencialmente peligrosas, protegiendo tanto al personal como a los equipos involucrados en el ensayo.

### ***Aislamiento Y Puesta a Tierra***

Todos los componentes eléctricos y estructuras metálicas del sistema están adecuadamente aislados y conectados a un sistema de puesta a tierra confiable, conforme a la normativa de seguridad eléctrica vigente. Esta medida minimiza el riesgo de choques eléctricos por contactos indirectos, sobretensiones o fallas de aislamiento, garantizando la integridad física del personal y la protección de los equipos durante las pruebas. Además, se asegura la continuidad eléctrica y se evita la acumulación de cargas estáticas en las superficies metálicas expuestas.

### ***Acceso restringido Durante las Pruebas***

Durante la ejecución de las pruebas de carga, el acceso al cuarto insonorizado está estrictamente restringido como parte de las medidas de seguridad operativa. Esta área contiene equipos eléctricos bajo prueba que operan con niveles significativos de voltaje y corriente, generando un incremento en la temperatura del generador debido al esfuerzo sostenido y a la transferencia de potencia hacia los bancos de carga resistivos.

El ingreso solo está permitido a personal técnico debidamente capacitado y autorizado, y únicamente cuando el sistema ha sido completamente desenergizado, los relés de estado sólido han sido desactivados y se ha confirmado la interrupción total del proceso desde el panel de control. Esta verificación garantiza condiciones seguras antes de permitir el ingreso.

Esta medida busca minimizar riesgos asociados a contactos eléctricos, exposición a superficies calientes o fallas inesperadas del sistema. Asimismo, protege la integridad de la prueba al evitar alteraciones externas o interrupciones que puedan afectar la medición y análisis del comportamiento del generador.

El cumplimiento de esta restricción es controlado por el operador encargado del sistema, conforme a los protocolos establecidos de seguridad industrial y procedimientos operativos normalizados para pruebas de generadores eléctricos.

### ***Protocolos De Operación Segura***

Para garantizar la integridad del personal y la correcta ejecución de las pruebas, se han establecido protocolos de operación segura que deben ser rigurosamente cumplidos. Todo el personal encargado debe estar previamente capacitado en el manejo del sistema

automatizado de carga, comprender a cabalidad los procedimientos operativos normales y estar familiarizado con los protocolos de respuesta ante emergencias, incluyendo el uso del botón de paro de emergencia (E-STOP) y la desconexión segura del sistema.

Asimismo, es obligatorio el uso de elementos de protección personal (EPP) adecuados al entorno eléctrico y térmico del cuarto de pruebas, tales como guantes dieléctricos, calzado de seguridad, protección auditiva, gafas de seguridad y ropa antiestática. Estos elementos son indispensables para prevenir lesiones derivadas de contactos accidentales, exposición a calor excesivo, ruido o posibles fallas técnicas.

### ***Protección Térmica Y Eléctrica***

El sistema de bancos de carga resistivos está equipado con múltiples mecanismos de protección que salvaguardan tanto los componentes como al personal durante las pruebas. En cuanto a la protección térmica, las cargas resistivas cuentan con ventilación forzada a través de extractores y ventiladores de alta capacidad que disipan eficientemente el calor generado por el paso de corriente. Adicionalmente, el sistema integra sensores térmicos y sistemas de desconexión automática que interrumpen la operación en caso de detectar temperaturas por encima de los umbrales de seguridad, evitando así el sobrecalentamiento y posibles daños estructurales.

En lo referente a la protección eléctrica, el sistema incorpora disyuntores termomagnéticos, fusibles calibrados y contactores de seguridad, los cuales actúan de forma inmediata frente a eventos como sobre corrientes, cortocircuitos o fallos de aislamiento. Estas protecciones garantizan la desconexión segura del sistema, preservando la integridad de los equipos y minimizando los riesgos eléctricos.

Todo este conjunto de protecciones ha sido diseñado conforme a normativas internacionales de seguridad eléctrica, asegurando una operación confiable, controlada y segura durante los ensayos de carga en generadores eléctricos.

### **Capacitación del Personal Técnico**

Con el fin de garantizar una operación segura, eficiente y alineada con los objetivos del sistema de pruebas, se proporcionará capacitación especializada al personal técnico encargado de su manejo y supervisión. Antes de iniciar cada prueba, se deben seguir los siguientes pasos con el fin de garantizar la seguridad del personal, la integridad de los equipos y la correcta ejecución del proceso.

### **Figura 18**

#### *Capacitación Personal Técnico*



*Nota.* Elaboración propia.

### ***Conexión de Cables de Potencia***

La conexión de los cables de potencia entre el generador en prueba y los bancos de carga resistivos debe realizarse con extremo cuidado y siguiendo estrictos protocolos de seguridad. Es fundamental verificar que la conexión se haga con el generador completamente apagado y sin tensión en los terminales. Se debe confirmar la correcta identificación de fases, la polaridad, y el ajuste firme de los terminales, asegurando un contacto eléctrico seguro y confiable.

Además, se debe inspeccionar visualmente el estado físico de los conductores, revisando que no presenten daños, cortes, desgaste en el aislamiento o conexiones sueltas. También es importante utilizar herramientas aisladas y equipos de protección personal (EPP) adecuados, como guantes dieléctricos y gafas de seguridad, para prevenir accidentes durante la manipulación de los cables.

### ***Verificación de Niveles del Generador***

Antes de iniciar cualquier prueba, es fundamental realizar una inspección completa de los niveles de refrigerante, combustible y aceite lubricante del generador, asegurando que se encuentren dentro de los parámetros recomendados por el fabricante. Esta verificación garantiza que el equipo opere bajo condiciones óptimas, previniendo sobrecalentamientos, fallos mecánicos o paradas inesperadas durante el ensayo.

Además, se debe revisar que no existan fugas, depósitos contaminantes o señales de deterioro en los sistemas correspondientes. En caso de detectar niveles bajos o condiciones anómalas, se deben realizar los ajustes o mantenimientos necesarios antes de continuar con el procedimiento. Esta práctica no solo mejora el rendimiento y la confiabilidad del

generador, sino que también prolonga su vida útil y evita riesgos durante la operación de carga.

### ***Inspección de Conexiones***

Previo al inicio de cada prueba, se debe realizar una inspección minuciosa de todas las conexiones eléctricas y mecánicas involucradas en el sistema. Es fundamental asegurarse de que los terminales estén firmemente ajustados, sin presencia de tornillos flojos, cables pelados, conexiones expuestas o componentes con signos de desgaste, corrosión o recalentamiento.

Esta revisión permite garantizar la continuidad eléctrica, minimizar pérdidas de energía y evitar posibles fallas o accidentes por falsos contactos, cortocircuitos o desconexiones durante la operación. Además, se recomienda el uso de herramientas de torque para asegurar que los ajustes cumplan con las especificaciones del fabricante y los estándares de seguridad eléctrica aplicables.

### ***Evacuación del Área de Pruebas***

Una vez finalizadas todas las verificaciones físicas y antes de iniciar la prueba, el personal debe evacuar completamente el cuarto de pruebas y asegurar el cierre adecuado de la puerta de acceso. Esta medida busca reducir la exposición al alto nivel de ruido, así como a posibles riesgos eléctricos, térmicos o mecánicos que puedan generarse durante la ejecución del ensayo.

El acceso al área permanecerá restringido exclusivamente al personal autorizado y solo cuando el sistema haya sido detenido y se haya verificado un entorno seguro. Esta acción

hace parte de los protocolos de seguridad establecidos para proteger la integridad física del equipo de trabajo y garantizar el desarrollo controlado de las pruebas.

### ***Encendido del Sistema de Ventilación***

Antes de iniciar la prueba, se debe activar el sistema de ventilación del cuarto de pruebas, incluyendo los extractores de aire, con el fin de garantizar una adecuada circulación y renovación del aire en el recinto. Esta acción es esencial para disipar el calor generado por el generador durante su operación, mantener una temperatura ambiente segura y evitar la acumulación de gases o vapores que puedan afectar el desempeño de los equipos o representar un riesgo para la seguridad.

El funcionamiento continuo y eficiente del sistema de ventilación contribuye a prolongar la vida útil de los componentes eléctricos, reducir el riesgo de sobrecalentamiento y mejorar las condiciones ambientales del entorno de prueba.

### ***Autenticación del Sistema***

Previo al inicio de la prueba, el operador debe ingresar una clave específica asociada a la referencia del generador en evaluación a través del teclado matricial del sistema de control. habilita la identificación del equipo seleccionado y permite aplicar carga de forma dirigida y segura a dicho generador.

Este procedimiento garantiza la asignación correcta de los parámetros de prueba, evita errores en la selección del equipo y asegura la trazabilidad y seguridad operativa durante el proceso de ensayo.

### ***Monitoreo Continuo de la Prueba***

Durante todo el proceso de prueba, se debe realizar una supervisión constante y sistemática del comportamiento del generador y del banco de carga. Esto incluye el seguimiento en tiempo real de variables eléctricas clave como voltaje, corriente, potencia activa y aparente, frecuencia y factor de potencia, así como las respuestas del sistema de control automatizado.

Asimismo, es fundamental detectar oportunamente cualquier condición anómala, como fluctuaciones inusuales, sobrecalentamientos, activación de protecciones o fallas en la respuesta del sistema. Ante cualquier irregularidad, el operador debe detener el proceso de forma segura y aplicar los protocolos de emergencia definidos, garantizando la integridad del personal, del generador y del sistema de prueba.

La Tabla 12 compara los resultados de las pruebas de carga realizadas a un generador de 100 kVA / 80 kW en modos manual y automático. El sistema automático, controlado por Arduino Mega, activa las cargas con precisión en cuatro etapas de 2.5 minutos cada una. En contraste, el modo manual presenta variaciones en la potencia aplicada y el tiempo, evidenciando menor precisión y eficiencia.

**Tabla 12***Análisis de Resultados – Pruebas Manual Vs Automática*

% de carga	Potencia esperada (kW)	Duración esperada (min)	Potencia medida (Automático)	Duración real (Automático)	Potencia medida (Manual)	Duración real (Manual)
25%	20 kW	2.5	20.4 kW	2.5	18.7 kW	3.2
50%	40 kW	2.5	40.5 kW	2.5	42.6 kW	3.6
75%	60 kW	2.5	60.9 kW	2.5	57.3 kW	4.1
100%	80 kW	2.5	81.1 kW	2.5	75.9 kW	4.4

*Nota.* Elaboración propia.**Error Porcentual en Potencia Medida en Modo Automático y Manual**

$$Error\% = \frac{|Potencia\ medida - Potencia\ esperada|}{Potencia\ esperada} * 100$$

**Porcentaje de mejora en tiempo entre el modo manual y automático**

$$\% de\ mejora\ en\ tiempo = \left( \frac{|Duración\ manual - Duración\ automatico|}{Duración\ manual} \right) * 100$$

**Tabla 13***Errores Porcentuales y Mejora en Tiempo por Nivel de Carga*

% de carga	Error% Automático	Error% Manual	% Mejora en tiempo
25%	2.00%	6.50%	21.88%
50%	1.25%	6.50%	30.56%
75%	1.50%	4.50%	39.02%
100%	1.37%	5.12%	43.18%

*Nota.* Elaboración propia.

## **Análisis de Resultados – Pruebas Manual Vs Automática**

Los resultados obtenidos permiten comparar el desempeño del sistema de pruebas en sus dos modos de operación: manual y automático, evaluando principalmente la precisión en la potencia medida y la eficiencia en el tiempo de ejecución.

### ***Precisión en la Potencia Medida***

Al comparar la potencia medida respecto a la potencia esperada, se observa que el modo automático presentó un error porcentual promedio de solo 1.53%, mientras que en el modo manual este error fue significativamente mayor, con un promedio de 5.65%. Esto indica que el sistema automático permite una conmutación más precisa de las cargas, reduciendo la desviación respecto al valor nominal esperado.

Este comportamiento se debe a que el sistema automático controla con exactitud la secuencia de activación de los relés, minimizando la intervención humana y, por tanto, el margen de error.

### ***Eficiencia en el Tiempo de Ejecución***

En cuanto a los tiempos reales de prueba, se evidencia que el sistema automático mantuvo constante la duración esperada de 2.5 minutos para cada nivel de carga, mientras que en el modo manual se presentaron tiempos mayores, oscilando entre 3.2 y 4.4 minutos.

El cálculo del porcentaje de mejora en tiempo muestra una reducción promedio del 33.65% en el modo automático, lo cual representa una mejora considerable en la eficiencia operativa. Esto implica que las pruebas pueden realizarse en menor tiempo, optimizando recursos y reduciendo el desgaste de los equipos bajo prueba.

La implementación del sistema automático no solo mejora la precisión en la conmutación de las cargas resistivas, sino que también reduce de manera significativa el tiempo de ejecución de cada prueba. Esto demuestra que el sistema automatizado es más confiable, eficiente y adecuado para entornos donde se requiere trazabilidad, repetibilidad y seguridad en los procesos de prueba de generadores eléctricos.

## **Recomendaciones**

Con el propósito de potenciar el rendimiento, la fiabilidad y la adaptabilidad del sistema automatizado de pruebas en generadores eléctricos, se recomienda implementar una serie de mejoras estructuradas que permitan avanzar hacia una solución más precisa, funcional y tecnológicamente escalable. Permitiendo una implementación progresiva que responda a los requerimientos operativos actuales y anticipe las futuras exigencias del entorno industrial. La adopción de estas medidas contribuirá significativamente al fortalecimiento del monitoreo, el análisis de datos y la trazabilidad de las pruebas, facilitando así una gestión técnica más eficiente y fundamentada en información en tiempo real.

### **Propuesta de Optimización y Desarrollo Escalable**

El presente plan de mejoras tiene como objetivo incrementar la funcionalidad, precisión y eficiencia del sistema automatizado de pruebas en generadores eléctricos, garantizando su evolución tecnológica y su alineación con los principios de la Industria 4.0. Para ello, se establece una estrategia estructurada en dos etapas: corto y mediano plazo, cada una orientada a fortalecer la capacidad operativa, la calidad de los datos obtenidos y la toma de decisiones técnicas basada en información confiable y en tiempo real.

#### ***Plan de Mejoras a Corto Plazo***

Implementación de un sistema HMI/SCADA: Se propone la incorporación de una interfaz gráfica intuitiva mediante software especializado, como LabVIEW View o plataformas equivalentes, que permita la supervisión en tiempo real del proceso de prueba en generadores eléctricos. Esta interfaz mostrará de manera clara la activación de las cargas, el porcentaje de carga aplicada en cada etapa y otros parámetros relevantes del

sistema, facilitando el monitoreo, el análisis de desempeño y la toma de decisiones informadas por parte del operador técnico.

***Plan de Mejoras a Mediano Plazo***

Medición de variables eléctricas: Integración de sensores y módulos de adquisición para la lectura de parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia activa/reactiva y frecuencia del generador en prueba.

Registro de datos: Almacenamiento de los resultados en una base de datos local o en la nube para su posterior análisis, trazabilidad y generación de informes automáticos.

## Conclusiones

La implementación del sistema automatizado permitió optimizar la conmutación de los bancos de carga resistivos utilizados en las pruebas de generadores eléctricos, reduciendo la dependencia de métodos manuales y minimizando errores operativos asociados a la activación secuencial de cargas. Cabe aclarar que el sistema desarrollado no controla el proceso completo de prueba, sino que se enfoca específicamente en la automatización de la conexión y desconexión de las cargas resistivas de manera estructurada y segura.

La integración de un microcontrolador Arduino Mega, junto con un teclado matricial, una pantalla LCD 20x4 y relés de estado sólido, demostró ser una solución eficiente y estructurada para la activación secuencial de cargas resistivas durante pruebas en generadores eléctricos. Si bien el sistema no realiza funciones de control ni monitoreo del proceso, permite una conexión automatizada y ordenada de los niveles de carga, lo que contribuye a una ejecución más precisa, segura y libre de intervención manual.

La ejecución automatizada de pruebas en cuatro niveles de carga (25%, 50%, 75% y 100%), con tiempos controlados de 2.5 minutos por etapa, permitió establecer una metodología replicable y confiable, asegurando condiciones uniformes para la evaluación del rendimiento de los generadores. La validación del sistema mediante pruebas con bancos de carga resistivos confirmó su eficacia, destacando su capacidad para reducir el margen de error, mejorar la seguridad operativa y optimizar los tiempos de prueba en comparación con los métodos tradicionales.

Las acciones definidas en el plan de mejoras permiten consolidar un sistema de automatización más robusto, confiable y sostenible a largo plazo. La incorporación de propuestas orientadas a la optimización técnica y funcional fortalece la capacidad del sistema para enfrentar nuevos desafíos operativos, garantizando su escalabilidad y adaptabilidad ante distintos escenarios de prueba. Este enfoque no solo incrementa la eficiencia y precisión del sistema actual, sino que establece una base sólida para su evolución tecnológica continua, en consonancia con los estándares de calidad, seguridad y trazabilidad requeridos en la evaluación del desempeño de generadores eléctricos.

## Referencias

- ADPMX (2024) Rebollar, J. (2024). Reducción de errores y aumento de la eficiencia operativa. ADPMX. <https://adpmx.com/reduccion-de-errores-y-eficiencia-operativa/>
- AG Electrónica. (n.d.). Ficha técnica: Teclado matricial 4x4 modelo OKY0272. <https://agelectronica.lat/pdfs/textos/O/OKY0272.PDF>
- Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O. (2006). Fundamentos de circuitos eléctricos (5ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Arduino. (n.d.). Arduino Mega 2560 Rev3 datasheet. <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000067-datasheet.pdf>
- Casado Ramírez, E. del J., Guillen Taje, J. L., & Velasco Viveros, G. (2022). Desarrollo de un dispensador de alimento con Arduino UNO para el monitoreo de fauna silvestre. *IPSUMTEC*, 5(3), 36–44. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9613190>
- Caterpillar Inc. (s. f.). *3516E (60 Hz) 2500–3000 kW diesel generator set specifications*. Recuperado el 29 de julio de 2025, de [https://www.cat.com/en\\_US/products/new/power-systems/electric-power/diesel-generator-sets/1000033111.html](https://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/electric-power/diesel-generator-sets/1000033111.html)
- Caterpillar Inc. (2022). Caterpillar reports fourth-quarter and full-year 2022 results.

<https://www.caterpillar.com/en/news/corporate-press-releases/h/4q22-results-caterpillar-inc.html>

Caterpillar Inc. (2024). Generadores diésel Cat: eficiencia, potencia y cumplimiento de normativas. Cat Electric Power. [https://www.cat.com/es\\_ES/products/new/power-systems/electric-power/diesel-generator-sets.html](https://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems/electric-power/diesel-generator-sets.html)

Compeletrónica. (s.f.). Módulo de relé de estado sólido de 5VDC un canal carga de 240V 2A SHRELE. <https://www.compelectronica.com/product/modulo-de-rele-de-estado-solido-de-5vdc-un-canal-carga-de-240v-2a-shrele/>

Cummins Inc. (2020). PowerCommand® Load Control Module (LCM) – Technical Overview. <https://www.cummins.com/generators/load-control-module>

Cummins Inc. (2023). Generación de energía a través de las generaciones: Cummins presenta nuevos grupos electrógenos de entre 1700 kVA y 2000 kVA. <https://www.cummins.com/es/news/releases/2023/12/05/power-generation-across-generations-cummins-introduces-new-generator-sets>

Cummins Inc. (2024). Misión cumplida: los grupos electrógenos Cummins son fundamentales para la confiabilidad de primera línea. Cummins Newsroom. <https://www.cummins.com/es/news/2024/11/08/mission-accomplished-cummins-gensets-critical-frontline-reliability>

Cummins Power Systems. (2023). Planta de Cummins Power Systems cumple 5 años en

México. Factor Energético. <https://factorenergetico.mx/planta-de-cummins-power-systems-cumple-5-anos-en-mexico/>

Dualtrónica. (s.f.). Tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 R3 con cable USB.

<https://dualtronica.com/tarjetas-desarrollo/222-arduino-mega-2560-r3.html>

Durán, J., Ruiz, E., Espinoza, A., García, A., Andrade, P., Aguilar, J., & Ruiz, J. (2019).

Automatización del proceso de aplicación de PA-5 en troquelado de terminales críticas. *Revista de Investigación Académica sin Frontera*, (31), 27–35.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7934189>

Electricity & Magnetism. (2023a). Generadores asíncronos.

<https://www.electricity-magnetism.org/es/generadores-asincronos/>

Electricity & Magnetism. (2023b). Generadores de corriente directa.

<https://www.electricity-magnetism.org/es/generadores-asincronos/>

Electronilab. (s.f.). Display LCD 20x4 2004A con Backlight Azul.

<https://electronilab.co/tienda/display-lcd-20x4-con-backlight-azul/>

García, J., & López, J. (2020). Diseño y fabricación de un banco de carga resistivo para

realizar simulación de pruebas a una planta generadora a gasolina implementado en el laboratorio de motores de la Universidad ECCI [Trabajo de grado, Universidad ECCI]. Repositorio Institucional Universidad ECCI.

<https://repositorio.ecci.edu.co/entities/publication/ef006288-97b4-4ad5-a8ed-ef85ff30e69e/full>

- Generac Industrial Power. (2022). The Generac advantage: Power systems for industrial applications. <https://www.generac.com/industrial/tools-resources/support/assets/>
- Gers Ingeniería. (2024). Estudios de sistemas eléctricos y automatización industrial. Gers S.A.S. <https://www.gers.com.co/estudios-de-sistemas-electricos>
- Giraldo Buitrago, D., Bolaños Ocampo, R. A., & Correa Flórez, C. A. (2006). Control de frecuencia y voltaje en tiempo real de un generador síncrono. *Scientia Et Technica*, 12(32), 13–18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911652004>
- Gonen, T. (2016). *Electrical power system analysis* (2nd ed.). CRC Press.
- Honda Power Equipment. (2021). Generadores portátiles Honda: potencia confiable para cualquier entorno. <https://powerequipment.honda.com/generators>
- Hughes, E., & Drury, J. (2004). *Electrical and electronic technology* (9th ed.). Pearson Education.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2013). IEEE Std 43-2013: IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery. <https://standards.ieee.org/ieee/43/4791/>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2019). IEEE Std 115-2019: IEEE Guide for Test Procedures for Synchronous Machines Including Acceptance and Performance Testing and Parameter Determination for Dynamic Analysis. <https://standards.ieee.org/standard/115-2019.html>

International Electrotechnical Commission. (2017). IEC 60034-1: Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance.

<https://webstore.iec.ch/publication/26191>

International Renewable Energy Agency. (2021). Renewable energy statistics 2021.

<https://www.irena.org/publications/2021/aug/renewable-energy-statistics-2021>

Kernova. (2025). Automatización en plantas de reciclaje: reducción de errores y desperdicios. <https://kernova.es/automatizacion-en-plantas-de-reciclaje-reduccion-de-errores-y-desperdicios/>

Leroy-Somer. (2022). Alternadores LSA: instalación y mantenimiento.

[https://www.leroy-somer.com/documentation\\_pdf/3433\\_es.pdf](https://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/3433_es.pdf)

Mahindra Powerol. (2023). Engine overview: The Mahindra engine advantage.

<https://www.mahindrapowerol.com/engines-overview.html>

Merkatronix. (n.d.). Osciloscopio digital Tektronix TBS1102B-EDU – 100 MHz, 2 canales, 2 GS/s.

[https://www.merkatronix.com/index.php?id\\_product=1102&controller=product](https://www.merkatronix.com/index.php?id_product=1102&controller=product)

Miranda, J., Rodríguez, A., & Torres, L. (2019). Estudio, análisis y modelamiento de los

sistemas eléctricos de distribución en el contexto de redes eléctricas inteligentes, industria 4.0 y automatización. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

<https://repository.udistrital.edu.co/items/658c5d1c-cf7d-40d6-b9c5-09a0629105f7>

Molina Arévalo, N., Tovar Perilla, N. J., & Sánchez Echeverri, L. A. (2022). Proceso de

formulación y gestión de proyectos de investigación, desarrollo e innovación

(I+D+i) de acuerdo con los requisitos de la norma técnica colombiana 5802 del

2008. Sello Editorial

UNAD. <https://libros.unad.edu.co/index.php/selloeditorial/catalog/book/191>

Moreno Salas, J. (2025). Práctica de semáforo con IDE Arduino. *Vida Científica: Boletín*

Científico de la Escuela Preparatoria No. 4, 13(25), 50–52.

<https://doi.org/10.29057/prepa4.v13i25.14045>

National Fire Protection Association. (2019). NFPA 110: Standard for Emergency and

Standby Power Systems. <https://www.infoteknico.com/nfpa-110-2019/>

Nidec Leroy-Somer. (2021, septiembre). *Manual de instalación y mantenimiento del*

*alternador LSA 47.2* (Documento N.º 3742\_es). Recuperado de [https://www.leroy-](https://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/3742_es.pdf)

[somer.com/documentation\\_pdf/3742\\_es.pdf](https://www.leroy-somer.com/documentation_pdf/3742_es.pdf)

Nilsson, J. W., & Riedel, S. A. (2011). *Circuitos eléctricos* (9ª ed.). Pearson Educación.

Omron Electronics LLC. (n.d.). G3MB Solid State Relay datasheet.

<https://www.openhacks.com/uploadsproductos/g3mb-ssr-datasheet.pdf>

Osorio-Luna, D. F., & Molina-Ruiz, P. A. (2019). Automatización y control de tecnologías

implementadas en invernaderos: una revisión. *Visión Electrónica*, 2(2, Edición especial), 381–394. <https://doi.org/10.14483/22484728.18439>

Pacto Mundial de Naciones Unidas. (s.f.). ODS 9: Industria, innovación e infraestructura.

[https://www.pactomundial.org/ods/9-industria-innovacion-e-infraestructura/?no\\_link=1](https://www.pactomundial.org/ods/9-industria-innovacion-e-infraestructura/?no_link=1)

Pérez Tavera, I. H. (2025). Bomba de agua controlada con Arduino. *Vida Científica:*

*Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, 13(25), 13–15.

<https://doi.org/10.29057/prepa4.v13i25.13806>

Perkins Engines Company. (2023). Perkins launches new power solution capabilities to

help OEMs navigate the global energy transition. Perkins Newsroom.

[https://www.perkins.com/en\\_GB/company/news/corporate-press-release/perkins-launches-new-power-solution-capabilities-to-help-oems-navigate-the-global-energy-transition.html](https://www.perkins.com/en_GB/company/news/corporate-press-release/perkins-launches-new-power-solution-capabilities-to-help-oems-navigate-the-global-energy-transition.html)

Rodríguez-Correa, P. A., Echeverri-Gutiérrez, C. A., Valencia-Arias, A., Acosta-Agudelo,

L. C., & Echeverri-Gutiérrez, M. (2023). *Tendencias en tecnologías convergentes en la industria 4.0: una revisión de literatura*. *Revista ION*, 36(2), 83–100.

<https://doi.org/10.18273/revion.v36n2-2023006>

Regal Rexnord. (2019). Alternator Voltage Regulation Systems – Technical

Documentation. Regal Rexnord Literature Resources.

<https://www.regalrexnord.com/tools-resources/Literature>

Safety Mantis. (2024). Guía de seguridad sobre los riesgos eléctricos.

<https://www.safetymantis.com/2024/>

Saldaña-Carranza, A. O., & Sánchez-Zamora, D. A. (2016). *Diseño y montaje de un pasteurizador solar y evaluación en el tratamiento de leche de cabra.*

*Agroindustrial Science*, 5(2), 109–126.

<https://doi.org/10.17268/agroind.science.2015.02.03>

Siemens Gamesa & Greenalia. (2023). Instalación de tres nuevos parques eólicos en España que suman 110 MW. Asociación Empresarial Eólica. <https://aeolica.org/siemens-gamesa-y-greenalia-impulsan-la-transicion-energetica-en-espana-con-la-instalacion-de-tres-nuevos-parques-eolicos-que-suman-110-mw/>

Simplex, Inc. (s.f.). *Electra digital load bank: Technical specifications and features.*

<https://www.simplexdirect.com/load-banks/large-portable/electra/details>

[Consulta: 5 de marzo de 2025]

Suárez, D., Solano, J., Martínez, R. B., Angarita, M., Henríquez, C., & Salcedo, D. (2020).

Sistema inteligente para la gestión automática de un generador eléctrico basado en la arquitectura del IoT. *Journal of Computational Electronics Science: Theory and Applications*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.17981/cesta.01.01.2020.01>

Systronix. (n.d.). Systronix 20x4 LCD brief data.

[http://www.systronix.com/access/Systronix\\_20x4\\_lcd\\_brief\\_data.pdf](http://www.systronix.com/access/Systronix_20x4_lcd_brief_data.pdf)

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. (2025). Tecnología en

Automatización Electrónica Industrial. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería. <https://estudios.unad.edu.co/tecnologia-en-automatizacion-electronica-industrial>

Vidal-Silva, C., Lineros, M. I., Uribe, G. E., & Olmos, C. J. (2019). Electrónica para todos

con el uso de Arduino: Experiencias positivas en la implementación de soluciones hardware-software. *Información Tecnológica*, 30(6), 377–386.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600377>

Water Environment Federation. (2017). *Water Innovation 2017: Implementing change*

through automation and data-driven systems.

<https://www.wef.org/WaterInnovation/>

Wattco. (2018). Una mirada detallada a los bancos de carga.

<https://www.wattco.com/es/2018/04/detallada-a-los-bancos-de-carga/>



## Apéndice B

### Protocolo De Pruebas Generadores

PROTOCOLO DE PRUEBA DE GENERADORES																	
<b>1. Información de la orden de prueba</b>				<b>3. Responsables de la prueba</b>						<b>6. Instrumentos de prueba</b>							
Fecha	2	MAY	2025	Prueba realizada por:	Isac Lopez	Prueba supervisada y aprobada por:								Banco de carga			
Número de orden	<b>4. Datos nominales del generador</b>						Amperímetro										
<b>2. Información del generador</b>				Potencia nominal a nivel del mar (kW)	80	Factor de potencia	0,8	Potencia nominal a nivel del mar (kVA)	100					Voltímetro	EVOL1-6		
Referencia del generador	AC125			Corriente nominal a nivel del mar (A@kW)	209	Voltaje nominal (VAC)	127-220	Corriente nominal a nivel del mar (A@kVA)	262					Frecuencímetro	EVOL1-6		
Número serie generador	22W4001230			<b>5. Datos de potencia a desarrollar en prueba</b>													
Modelo del motor	6BT5.9-G2			Altitud sitio de prueba (msnm)	1500	Factor de Derrateo	1	Potencia de prueba (kW)	80	Corriente de prueba (A)	209,9			Tacómetro	N/A		
<b>8. Datos y resultados de prueba</b>																	
Número de serie del motor	93025521			Voltaje carga batería (VDC)	28,0	Voltaje de baterías (VDC)	24	Voltaje Neutro-Tierra (mV)	2					Modelo del controlador	DGE6020		
Modelo del alternador	AA-100-4			Voltaje L-L promedio de prueba (VAC)	220	Corriente máxima promedio prueba (A)	212,8	Potencia máxima en prueba (kW)	81,1					Modelo del AVR	SX460		
Número de serie alternador	2207461722			Se aprueba la liberación del generador conforme a la potencia esperada para la prueba en sitio				si	X	No				Modelo del gobernador	S6700H		
<b>9. Registro de datos de prueba</b>																	
Carga	Hora inicio	Hora final	Voltajes L-L (VAC)			Voltajes L-N (VAC)			Corriente (A)			Frecuencia	Potencia	Presión aceite		Temper.	
%	hh:mm	hh:mm	V L1-L2	V L1-L3	V L2-L3	V L1-N	V L2-N	V L3-N	I L1	I L2	I L3	Hz	kW	kPa	psi	°C	
0 %	9:10	9:12	221	221	221	127	127	127	0	0	0	60	0	490	71	40	
25 %	9:12	9:15	221	221	221	127	127	127	53.5	53.5	53.5	60	20,4	490	71	55	
50 %	9:15	9:18	221	221	221	127	127	127	106	106	106	60	40,5	490	71	65	
75 %	9:18	9:21	220	220	220,0	126	126	126	159,8	159,8	159,8	59	60,9	490	71	78	
100 %	9:21	9:24	219	219	219	126	126	126	212,8	212,8	212,8	59	81,1	490	71	85	

Nota. Energía y Potencia.

## Apéndice C

### Claves Válidas Para Pruebas de Generadores

Automatización de bancos de carga resistivos para pruebas de generadores electricos  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD



#### CONTRASEÑA PARA PRUEBAS DE GENERADORES TRIFÁSICOS Y MONOFÁSICOS

KVA	KW	TRIFÁSICO		KVA	KW	TRIFÁSICO	
		220	CLAVE			440	CLAVE
6,5	5	220	2006	32	26	440	4032
13	10	220	2013	40	32	440	4045
15	12	220	2015	50	40	440	4050
17	14	220	2017	60	48	440	4070
18	14,4	220	2020	75	60	440	4075
20	16	220	2022	100	80	440	4100
22	18	220	2024	120	96	440	4120
25	20	220	2030	135	108	440	4130
30	24	220	2032	150	120	440	4140
32	26	220	2035	175	140	440	4150
40	32	220	2040	200	160	440	4175
50	40	220	2045	225	180	440	4200
60	48	220	2050	250	200	440	4225
75	60	220	2055	275	220	440	4250
100	80	220	2060	300	240	440	4275
120	96	220	2028	325	260	440	4300
135	108	220	2012	350	280	440	4325
150	120	220	2043	375	300	440	4350
175	140	220	2048	400	320	440	4375
200	160	220	2052	450	360	440	4400
225	180	220	2056	500	400	440	4425
250	200	220	2070	525	420	440	4450
275	220	220	2075	600	480	440	4475
300	240	220	2100	625	500	440	4500
325	260	220	2120	650	520	440	4525
350	280	220	2130	700	560	440	4550
375	300	220	2150	750	600	440	4600
400	320	220	2160	800	640	440	4800
450	360	220	2165				
						<b>MONOFÁSICO 240</b>	
500	400	220	2170	<b>KVA</b>	<b>KW</b>		
525	420	220	2175	6,5	6,5	240	1006
600	480	220	2200	13	13	240	1013
625	500	220	2250	15	15	240	1020
650	520	220	2300	18	18	240	1023
700	560	220	2350	20	20	240	1030
750	600	220	2400	25	25	240	1040
800	640	220	2500	30	30	240	1050
				40	40	240	1060

Nota Elaboración propia.

## Apéndice D

### Control Asistencia Capacitación Manejo Sistema Automático



Energía & Potencia

CONTROL DE ASISTENCIA	
<b>Nombre del Curso</b>	Instrucciones para la Ejecución de Pruebas a Generadores Eléctricos
<b>Dictado por:</b>	Jairo A. Arias G <b>Firma:</b>
<b>Lugar:</b>	ENERGIA Y POTENCIA
<b>Fecha:</b>	04 de julio de 2025
<b>No. participantes</b>	2
<b>Objetivo Capacitación:</b>	Capacitar al personal técnico en el manejo adecuado del banco de carga resistivo en modo automático, con el fin de ejecutar de manera segura y eficiente las pruebas funcionales y operativas de generadores eléctricos.
<b>Tiempo utilizado:</b>	

No.	NOMBRE	FIRMA	CÉDULA
1	ISAC LOPEZ CAUSIL		700238916
2	JOAN CAMILO VELEZ G	JOAN VELEZ	7035877952
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Nota Elaboración propia.