



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA.**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**TEMA: “RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL MOTOR GENERADOR DEUTZ  
F3L912 PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA LÁCTEOS LATACUNGA”.**

Propuesta Tecnológica presentada previo a la obtención del Título de  
INGENIEROS EN ELECTROMECAÁNICA

**Autores:**

Fernández Balarezo Mario Sebastián.

Portilla Hidalgo Anderson Mesías

**Tutor:**

Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez

**LATACUNGA – ECUADOR**

**MARZO 2021**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Fernández Balarezo Mario Sebastián y Portilla Hidalgo Anderson Mesías declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: “RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL MOTOR GENERADOR DEUTZ F3L912 PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA LÁCTEOS LATACUNGA” siendo el Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

---

Fernández Balarezo Mario Sebastián

CC: 050368417-7

---

Portilla Hidalgo Anderson Mesías

CC: 100370131-3



## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL MOTOR GENERADOR DEUTZ F3L912 PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA LÁCTEOS LATACUNGA”, de Fernández Balarezo Mario Sebastián y Portilla Hidalgo Anderson Mesías de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Marzo 2021

El Tutor

---

Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez

CC: 050252958-9



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS.; por cuanto, los postulantes: **Fernández Balarezo Mario Sebastián y Portilla Hidalgo Anderson Mesías** con el título de Proyecto de titulación: “RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL MOTOR GENERADOR DEUTZ F3L912 PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA LÁCTEOS LATACUNGA”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 02 de marzo 2021

Para constancia firman:

---

### Lector 1 (Presidente)

**Nombre:** Gallardo Molina Cristian Fabián

**CC:** 050284769-2

---

### Lector 2

**Nombre:** Porras Reyes Jefferson Alberto

**CC:** 070440044-9

---

### Lector 3

**Nombre:** Corrales Bastidas Byron Paul

**CC:** 050234776-8



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Sr. Jhon Patricio Romero Castillo

Dueño de la industria láctea “Lácteos Latacunga”

Presente. -

En calidad de Propietario de la industria láctea “Lácteos Latacunga”, confirmo la realización del proyecto RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL MOTOR GENERADOR DEUTZ F3L912 PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA “LÁCTEOS LATACUNGA” SECTOR DE MULALO PROVINCIA DE COTOPAXI, Implementado por los señores, Fernández Balarezo Mario Sebastián y Portilla Hidalgo Anderson Mesías, estudiantes de la carrera INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA de la Universidad Técnica de Cotopaxi, bajo la supervisión y coordinación de mi persona. Acepto conocer y estar conforme con los términos y condiciones de las actividades que se van a realizar en el grupo electrógeno para la ejecución del proyecto de los señores estudiantes. Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente documento para que el interesado pueda hacer uso en fines que crea conveniente.

---

Sr. Jhon Patricio Romero Castillo

CC: 050109335-5

Propietario de la industria láctea “Lácteos Latacunga”

## **AGRADECIMIENTO.**

En primer lugar, agradezco a Dios por regalarme la oportunidad de vivir, la sabiduría de seguir adelante y la fuerza de nunca rendirme.

A la universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas, a la carrera de Ingeniería electromecánica y a sus profesores quienes me han brindado sus conocimientos para ponerlos en práctica, en especial a mi tutor Ing. Luigi Freire.

Agradezco eternamente a mis padres Elsa y Mario quienes con su amor, paciencia y dedicación me han apoyado, y me otorgaron la oportunidad de estudiar para formarme como un profesional con ética y valores.

A toda mi familia y amigos que siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo en especial a mi hermano Santiago y a mi tía Susana.

A mi compañero de tesis Anderson Portilla quien me ha brindado su apoyo incondicional y su sincera amistad para culminar con este gran sueño.

**SEBASTIÁN.**

## **AGRADECIMIENTO.**

A Dios quien con sus bendiciones me da la sabiduría necesaria para culminar esta etapa con satisfacción.

A mis padres y hermanos quienes me han acompañado en cada momento de mi vida.

A mi esposa e hija quienes han sido mi guía, soporte y fortaleza; siempre con una palabra de aliento para para luchar ante cualquier adversidad.

A mis amig@s y mi colega Sebastián Fernández, que contribuyeron de una u otra manera con su ayuda y consejos en el trayecto de esta etapa.

A mis maestros y a la Universidad Técnica de Cotopaxi que me abrió sus puertas, brindándome la oportunidad de una formación académica de excelencia.

ANDERSON

## **DEDICATORIA.**

Dedico este sencillo trabajo a mis queridos padres Mario y Elsa por su apoyo en los momentos más importantes de mi vida.

A mis amigos Diana, Andrés y a mi primo Edison por estar a mi lado y brindarme sus consejos.

A mi madrina Patricia Balarezo y mis abuelitos Gonzalo e Isolina y mi tía Inés, que con mucho cariño han sabido guiarme por el camino correcto.

**SEBASTIÁN.**

## **DEDICATORIA.**

A Dios por permitirme culminar con éxito una de mis etapas académicas.

A mis padres Héctor y María, por su apoyo incondicional quienes con sus enseñanzas me han sabido inculcar valores y principios para ser una mejor persona y un excelente profesional.

A mi esposa e hija, por ser un pilar fundamental en mi vida, quienes son mi motor y motivo principal para salir adelante, quienes con su comprensión, paciencia y amor incondicional me dan la fortaleza para culminar con éxito cada una de mis metas.

A la memoria de mi mami Martha, quien desde el cielo me bendice cada día y me guía en cada paso hacia el cumplimiento y superación de mis metas personales y profesionales.

ANDERSON.

## INDICE DE LA PROUESTA TECNOLÓGICA

|  |    |
|--|----|
| 1. INFORMACIÓN BÁSICA.....   | 1  |
| 2. ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA .....  | 2  |
| 2.1. Título de la propuesta tecnológica .....  | 2  |
| 2.2. Tipo de alcance.....  | 2  |
| 2.2.1. Tipo de proyecto.....   | 2  |
| 2.2.2. Alcance.....  | 2  |
| 2.3. Área del conocimiento .....   | 2  |
| 2.4. Sinopsis de la propuesta .....  | 2  |
| 2.5. Objeto de estudio y campo de acción.....  | 3  |
| 2.5.1. Objeto de estudio.....  | 3  |
| 2.5.2. Campo de acción .....   | 3  |
| 2.6. Situación problemática y problema.....  | 3  |
| 2.6.1. Situación problemática.....   | 3  |
| 2.6.2. Problema.....   | 4  |
| 2.7. Hipótesis.....  | 4  |
| 2.8. Objetivos. ....   | 5  |
| 2.8.1. Objetivo general .....  | 5  |
| 2.8.2. Objetivos específicos.....  | 5  |
| 2.9. Descripción de las actividades y tareas compuestas con los objetivos establecidos ..... | 5  |
| 3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA .....   | 6  |
| 3.1. Industria Láctea .....  | 6  |
| 3.1.1. Sistema eléctrico en industria láctea .....   | 6  |
| 3.1.2. Energía en la industria láctea.....   | 7  |
| 3.2. Grupo electrógeno.....  | 7  |
| 3.2.1. Motor.....  | 8  |
| 3.2.2. Motor estacionario.....   | 8  |
| 3.2.3. Motor de Combustión Interna .....   | 9  |
| 3.2.4. Ciclo Diésel.....   | 9  |
| 3.3. Generadores.....  | 10 |
| 3.3.1. Generador sincrónico .....  | 10 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.3.2.   | Tipos de construcción.....                              | 11 |
| 3.3.3.   | Generador sincrónico sin escobillas .....               | 12 |
| 3.3.4.   | Partes de un generador Sincrónico sin escobillas.....   | 12 |
| 3.3.5.   | Sistema de excitación .....                             | 14 |
| 3.4.     | Automatización .....                                    | 16 |
| 3.4.1.   | Tipos de automatización.....                            | 16 |
| 3.4.2.   | Arranque manual .....                                   | 17 |
| 3.4.2.   | Sensores.....   | 17 |
| 3.5.     | Actuadores.....   | 18 |
| 3.5.1.   | Motor paso a paso .....                                 | 18 |
| 3.5.1.   | Contactores.....  | 18 |
| 4.       | METODOLOGÍA .....                                       | 19 |
| 4.1.     | Introducción .....                                      | 19 |
| 4.2.     | Variables .....   | 19 |
| 4.3.     | Metodología de control de grupo electrógeno.....        | 20 |
| 4.3.1.   | Implementación, motor. ....                             | 21 |
| 4.3.1.1. | Velocidad de rotación.....                              | 21 |
| 4.3.2.   | Implementación, generador. ....                         | 23 |
| 4.3.3.   | Control de velocidad de grupo electrógeno.....          | 24 |
| 4.3.4.   | Implementación tablero de control.....                  | 26 |
| 4.4.     | Metodología de consumo de combustible.....              | 28 |
| 4.4.1.   | Volumen de combustible.....                             | 28 |
| 4.5.     | Metodología de la curva de capacidad del generador..... | 29 |
| 4.5.1.   | Potencia Activa. ....                                   | 29 |
| 4.5.2.   | Potencia Reactiva. ....                                 | 29 |
| 4.5.3.   | Corriente máxima. ....                                  | 29 |
| 4.5.4.   | Reactancia sincrónica.....                              | 30 |
| 4.5.5.   | Tensión generada en los terminales del estator .....    | 30 |
| 4.5.6.   | Frecuencia eléctrica.....                               | 30 |
| 4.5.7.   | Potencia de la máquina sincrónico.....                  | 31 |
| 4.6.     | Metodología de resistencias (Cargas).....               | 31 |
| 4.6.1.   | Corriente Nominal.....                                  | 32 |
| 4.6.2.   | Ley de Ohm.....   | 32 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 4.6.3.   | Potencia .....  | 32 |
| 4.6.4.   | Resistencia en serie y paralelo.....  | 32 |
| 4.7.     | Software a utilizar .....   | 33 |
| 4.7.1.   | Nextion Editor .....  | 33 |
| 4.7.2.   | Altium designer .....   | 33 |
| 4.7.3.   | Microchip Studio.....   | 33 |
| 5.       | ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL GRUPO ELECTRÓGENO DEUTZ F3L912 ..... | 34 |
| 5.1.     | Motor de combustión interna .....   | 34 |
| 5.1.1.   | Velocidad de rotación.....  | 35 |
| 5.1.2.   | Interruptor de presión de aceite .....  | 37 |
| 5.1.3.   | Temperatura del motor .....   | 38 |
| 5.1.4.   | Carga de alternador .....   | 39 |
| 5.2.     | Generador .....   | 40 |
| 5.2.1.   | Ensamble del generador .....  | 41 |
| 5.2.2.   | Acondicionamiento de voltaje Línea-Neutro .....   | 44 |
| 5.2.2.1. | Ecuación obtenida en la linealidad del voltaje línea-neutro .....                             | 44 |
| 5.2.3.   | Acondicionamiento de voltaje línea-línea.....   | 45 |
| 5.2.3.1. | Ecuación obtenida en la linealidad del voltaje línea-línea .....                              | 45 |
| 5.2.4.   | Acondicionamiento de Corriente de las líneas .....  | 45 |
| 5.2.4.1. | Ecuación obtenida en la linealidad de la corriente .....                                      | 46 |
| 5.2.5.   | Acondicionamiento de señal de temperatura de los bobinados.....                               | 46 |
| 5.3.     | Control de potencia .....   | 46 |
| 5.4.     | Curva de Capabilidad .....  | 47 |
| 5.5.     | Control del grupo electrógeno.....  | 49 |
| 5.5.1.   | Control de aceleración PID .....  | 50 |
| 5.5.2.   | Funcionamiento del generador y luces de alerta .....  | 53 |
| 5.6.     | Consumo vs generación .....   | 53 |
| 6.       | ANÁLISIS DE IMPACTO .....   | 55 |
| 6.1.     | Impacto Económico.....  | 55 |
| 6.1.1.   | Análisis VAN y TIR.....   | 56 |
| 6.2.     | Impacto ambiental.....  | 57 |
| 6.3.     | Impacto Practico.....   | 57 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 6.4. Impacto Tecnológico..... | 58 |
| 7. CONCLUSIONES .....         | 58 |
| 8. RECOMENDACIONES .....      | 58 |
| 9. REFERENCIAS .....          | 59 |
| 10. ANEXOS.....               | 62 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 2.1</b> Sistema de actividades por objetivo. ....                     | 5  |
| <b>Tabla 4.1</b> Variables de entrada y salida del grupo electrógeno. ....     | 19 |
| <b>Tabla 4.2</b> Tipos de conexión de cargas.....                              | 31 |
| <b>Tabla 5.1</b> Datos del motor. ....   | 34 |
| <b>Tabla 5.2</b> Datos del generador. ....                                     | 41 |
| <b>Tabla 5.3</b> Resistencia de las bobinas. ....                              | 42 |
| <b>Tabla 5.4</b> Aislamiento de bobinas. ....                                  | 42 |
| <b>Tabla 5.5</b> Aislamiento de las bobinas con la carcasa.....                | 43 |
| <b>Tabla 5.6</b> Resistencia de las bobinas del estator de la excitatriz. .... | 43 |
| <b>Tabla 5.7</b> Límites del generador. ....                                   | 47 |
| <b>Tabla 5.8</b> Resistencias utilizadas. ....                                 | 48 |
| <b>Tabla 5.9</b> Carga Instalada. ....   | 48 |
| <b>Tabla 6.1</b> Presupuesto.....  | 55 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 3.1</b> Procesos donde se utiliza energía eléctrica en la industria láctea. .... | 7  |
| <b>Figura 4.1</b> Diagrama de bloques del grupo electrógeno.....                           | 20 |
| <b>Figura 4.2</b> Diagrama de funcionamiento del grupo electrógeno .....                   | 20 |
| <b>Figura 4.3</b> Motor paso a paso para apagado. ....                                     | 25 |
| <b>Figura 4.4</b> Motor paso a paso para aceleración. ....                                 | 25 |
| <b>Figura 4.5</b> Diseño de la placa de control. ....                                      | 26 |
| <b>Figura 4.6</b> Luces piloto y paro de emergencia. ....                                  | 27 |
| <b>Figura 4.7</b> Tarjeta AVR.....   | 27 |
| <b>Figura 4.8</b> Módulo regulador de alternador.....                                      | 28 |
| <b>Figura 5.1</b> Placa del Motor. ....  | 35 |
| <b>Figura 5.2</b> Implementación del sensor de proximidad. ....                            | 35 |
| <b>Figura 5.3</b> Velocidad del sensor de posición.....                                    | 36 |
| <b>Figura 5.4</b> Linealidad del sensor de proximidad. ....                                | 36 |
| <b>Figura 5.5</b> Presión de aceite antes del encendido. ....                              | 37 |
| <b>Figura 5.6</b> Presión de aceite en ralentí.....  | 37 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 5.7</b> Presión de aceite a plena carga. ....                   | 38 |
| <b>Figura 5.8</b> Linealidad del sensor de temperatura.....               | 38 |
| <b>Figura 5.9</b> Acondicionamiento sensor de temperatura.....            | 38 |
| <b>Figura 5.10</b> Temperatura inicial. ....                              | 39 |
| <b>Figura 5.11</b> Temperatura con motor en funcionamiento. ....          | 39 |
| <b>Figura 5.12</b> Alternador antes de encendido.....                     | 40 |
| <b>Figura 5.13</b> Alternador a plena carga. ....                         | 40 |
| <b>Figura 5.14</b> Placa del Generador. ....                              | 41 |
| <b>Figura 5.15</b> Acondicionamiento de voltaje línea-neutro. ....        | 44 |
| <b>Figura 5.16</b> Acondicionamiento de voltaje línea-línea.....          | 45 |
| <b>Figura 5.17</b> Acondicionamiento de corriente. ....                   | 46 |
| <b>Figura 5.18</b> Protección de corriente nominal. ....                  | 47 |
| <b>Figura 5.19</b> Salidas de potencia.....                               | 47 |
| <b>Figura 5.20</b> Curva de capacidad del generador.....                  | 48 |
| <b>Figura 5.21</b> Placa de control.....                                  | 49 |
| <b>Figura 5.22</b> Implementación de la placa de control. ....            | 49 |
| <b>Figura 5.23</b> Implementación de la pantalla y luces. ....            | 50 |
| <b>Figura 5.24</b> Curva de reacción.....                                 | 51 |
| <b>Figura 5.25</b> Modelos matemáticos de curva de acondicionamiento..... | 51 |
| <b>Figura 5.26</b> Modelo matemático. ....                                | 52 |
| <b>Figura 5.27</b> Constantes PID.....                                    | 52 |
| <b>Figura 5.28</b> Luz de alerta antes de la carga. ....                  | 53 |
| <b>Figura 5.29</b> Luz de alerta a plena carga.....                       | 53 |
| <b>Figura 5.30</b> Relación de consumo. ....                              | 54 |
| <b>Figura 5.31</b> Relación costo de consumo.....                         | 54 |
| <b>Figura 6.1</b> Relación VAN – Tasa de descuento y TIR.....             | 57 |
| <b>Figura I.1</b> Comparación de microcontroladores.....                  | 62 |
| <b>Figura II.1</b> Características del motor paso a paso.....             | 63 |
| <b>Figura III.1</b> Características de la pantalla HMI.....               | 63 |
| <b>Figura IV.1</b> Características de la termocupla.....                  | 63 |
| <b>Figura V.1</b> Selección del sensor de posición.....                   | 64 |
| <b>Figura VI.1</b> Voltajes aplicados.....                                | 64 |
| <b>Figura VII.1</b> Resistencia establecida para los bobinados.....       | 64 |
| <b>Figura VIII.1</b> Motor a la intemperie.....                           | 65 |
| <b>Figura IX.1</b> Medición de las aislamiento de los bobinados.....      | 65 |
| <b>Figura X.1</b> Barnizado de los elementos del generador.....           | 66 |
| <b>Figura XI.1</b> Motor armado.....                                      | 67 |
| <b>Figura XII.1</b> Generador DEUTZ F3L912.....                           | 67 |
| <b>Figura XIII.1</b> Datos técnicos del motor.....                        | 68 |
| <b>Figura XIV.1</b> Curvas de torque y potencia.....                      | 68 |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**TÍTULO:** RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL MOTOR GENERADOR DEUTZ F3L912 PARA LA INDUSTRIAL LÁCTEA “LÁCTEOS LATACUNGA.

**Autores:**

Fernández Balarezo Mario Sebastián.

Portilla Hidalgo Anderson Mesías

**RESUMEN**

Los generadores diésel se pueden definir como dispositivos que utilizan energía mecánica para generar corriente eléctrica de forma continua. Este proyecto tiene como fin desarrollar un sistema digital de seguimiento de variables y control de un grupo electrógeno de generación trifásico. El proceso a controlar es: encender y apagar el grupo electrógeno, la conexión y desconexión de la carga generada; así mismo la medición de variables de funcionamiento como: velocidad de trabajo del equipo electrógeno, temperatura de funcionamiento del motor de combustión interna y de bobinados internos del generador, voltajes de salida, al igual que el ajuste automático de aceleración mediante un control PID de aceleración. Mediante el diseño de un sistema, compuesto por un módulo micro controlado que pueden capturar y visualizar las variables más importantes en el grupo electrógeno para una operación segura al operar y mantención la máquina.

Obteniendo como resultado, un ahorro del consumo del combustible del 14% por cada KWh de generación que a largo plazo representa un ahorro para la industria al disminuir en costos de mano de obra, además de la oportunidad de implementar equipos electromecánicos que fomentaran la competitividad industrial.

**Palabras Clave**

Generador trifásico, medición de tensión, corriente eléctrica, motor combustión interna, calibración.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**

**TITLE:** “GENERATOR MOTOR DEUTZ F3L912 TECHNOLOGIC RECONVERSION FOR DAIRY INDUSTRY "LACTEOS LATACUNGA.”

**Authors:** Fernández Balarezo Mario Sebastián  
Portilla Hidalgo Anderson Mesías

**ABSTRACT**

Diesel generators can be defined as devices that use mechanical energy to generate electric current continuously. This project's purpose is to develop a digital variable tracking, and triphasic generator set control system. The control process consists of: Turning on/off the triphasic generator set, generated load connection and disconnection; also, variables operation measurements such as generator set function speed, internal combustion engine temperature function and generator internal windings, output voltage, same as acceleration automatic adjustment trough PID acceleration control. A system design made up of micro-controlled modules that can capture and visualize the most relevant variables within the generator set for the device's safe maintenance and operation.

Resulting in a 14% fuel consumption saving for each KWh of the generation that in the long term will represent a saving for the industry by decreasing workforce, moreover the implementation of electro-mechanics devices that will promote industrial competitiveness.

**Keywords**

Three-phase power generator, voltage measurement, electric current, internal combustion engine, calibration



## ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **FERNÁNDEZ BALAREZO MARIO SEBASTIÁN** y **PORTILLA HIDALGO ANDERSON MESÍAS**, cuyo título versa **“RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL MOTOR GENERADOR DEUTZ F3L912 PARA LA INDUSTRIA LÁCTEA LÁCTEOS LATAACUNGA”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente,

**Mg. Mayra Clemencia Noroña Heredia.**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.C. 0501955470**

1803027935 Firmado  
digitalmente por  
VICTOR HUGO ROMERO GARCIA  
ROMERO GARCIA  
Fecha: 2021.03.05  
19:01:31 -05'00'

## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **Propuesto por:**

Fernández Balarezo Mario Sebastián

Portilla Hidalgo Anderson Mesías.

### **Tema aprobado:**

Reconversión tecnológica del motor generador Deutz f31912 para la industria láctea “Lácteos Latacunga”.

### **Carrera:**

Ingeniería Electromecánica

### **Director de la propuesta tecnológica:**

Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez

### **Equipo de trabajo:**

Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez

Fernández Balarezo Mario Sebastián.

Portilla Hidalgo Anderson Mesías

### **Lugar de ejecución:**

Región Sierra, Provincia Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Mulaló

### **Tiempo de duración de la propuesta:**

Octubre 2020 – marzo 2021

### **Fecha de entrega:**

Marzo de 2021

### **Línea de investigación institucional:**

Procesos Industriales.

### **Sub línea de investigación de la carrera:**

Sub línea 2: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos

Sub línea 3: Energética en sistemas electromecánico y uso de fuentes renovables de energía.

### **Tipo de propuesta tecnológica:**

Innovación

## **2. ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA**

### **2.1. Título de la propuesta tecnológica**

Reconversión tecnológica del motor generador Deutz f31912

### **2.2. Tipo de alcance**

#### **2.2.1. Tipo de proyecto**

- **Interdisciplinar:** El proyecto combina varios enfoques de distintas ciencias sobre un mismo objeto.
- **Desarrollo:** La propuesta tecnológica es una mejora el funcionamiento del equipo electrógeno a diferencia de modelos de trabajo convencionales.

#### **2.2.2. Alcance**

El presente proyecto tiene como alcance una reconversión tecnológica que mejora el funcionamiento y acción del equipo electrógeno Deutz F31912 para aprovechar al máximo las características propias del equipo utilizando un módulo micro controlado que permite la visualización de variables y control de motor generador. El proyecto incluye el diseño, cálculos y consideraciones técnicas de funcionamiento del equipo electrógeno.

### **2.3. Área del conocimiento**

Según la nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencias y Tecnología, se determina código #330000 (Ciencia y Tecnológicas), como campo amplio y especificándolos códigos #3306, #3311, #3313 (Ingeniería y Tecnología Eléctrica, Tecnología de la Instrumentación, Tecnología e Ingeniería Mecánica); definiendo códigos derivados como el #3306.07 (Maquinas Rotativas), #3311.01(Tecnología de la Automatización), #3313.13 (Motores de Combustión Interna).

### **2.4. Sinopsis de la propuesta**

El proyecto se fundamenta en el diseño de un módulo de control, que se encuentra gobernado por un microcontrolador ATmega 2560, mismo que, mediante programaciones específicas, permite visualizar y controlar los parámetros de funcionamiento del equipo electrógeno a través de una

pantalla HMI, con el fin de desarrollar una reconversión tecnológica a un equipo de generación eléctrica en desuso mejorando así su funcionamiento con nueva tecnología.

El trabajo a realizar contempla, brindar un suministro continuo de energía eléctrica para el sector industrial, específicamente para la industria láctea, enfocado en la obtención de la materia prima y los equipos que ésta utiliza para la obtención de la misma. De acuerdo a la ubicación geográfica donde el suministro eléctrico por redes de transmisión es escaso y la aplicación de otro tipo de energía requiere un estudio más específico.

## **2.5. Objeto de estudio y campo de acción**

### **2.5.1. Objeto de estudio**

- Motor generador Deutz f31912 de 25 KW

### **2.5.2. Campo de acción**

Reconversión tecnológica mediante módulo micro controlado para visualización de parámetros y control de equipo electrógeno.

## **2.6. Situación problemática y problema**

### **2.6.1. Situación problemática**

En el sector industrial, la energía eléctrica representa aproximadamente un 30% del total de energía que se consume. La electricidad se utiliza, tanto como fuente impulsora de los motores eléctricos de las máquinas y aparatos propios de cada sector, como para calentar los contenidos de tanques, depósitos o calderas. Como en el sector doméstico, la electricidad es la principal fuente de iluminación y permite obtener calor y frío con equipos de climatización [1]

Por lo tanto, dentro de cualquier tipo de industrias uno de los principales problemas es el abastecimiento eléctrico por lo cual se opta por equipos de generación externos ya sean eólicos, solares, hídricos o por quema de combustibles fósiles (motores combustión interna), mismos que para su implementación requieren estudios de aplicación los cuales resultan costosos para una industria ya sea por ubicación geográfica, condiciones meteorológicas, etc. Para la industria láctea “Lácteos Latacunga” el problema de abastecimiento eléctrico está en los campos de obtención de

la materia prima (leche), puesto que las líneas de suministro eléctrico no abastecen de manera óptima y si lo hacen es de forma intermitente, limitando de esta manera una producción de la industria, además, tomando en cuenta que la empresa ya cuenta con equipos de generación en desuso, con el fin de brindar funcionamiento a máquinas electromecánicas en la producción. La reconversión tecnológica del grupo electrógeno DEUTZ busca generar la energía suficiente para el funcionamiento de los equipos de manera automática y continua para así mejorar la obtención de materia prima para la industria; por lo tanto, se considera que, dentro de la elaboración de proyecto, la reconversión mejoraría la línea de producción reduciendo el tiempo, aumentando la calidad, y optimizando recursos de obtención de los materiales para la elaboración de los productos. Consecuentemente al introducir equipamiento tecnológico con una fuente continua de electricidad dentro de las granjas de intención de materia prima, se reduciría notablemente tiempos de trabajo, es decir que, si un trabajador demora entre 12 a 15 minutos ordeño manual, con un equipo automático (ordeño mecánico) se reducirá con tiempos recomendados de 5 a 7 minutos brindado un ahorro para la industria puesto que es una práctica mucho más higiénica, conserva la integridad de los animales, aumenta la cantidad de extracción de leche es decir que se previene perdidas, etc. Reduciendo tiempo y aumentando cantidad y calidad

### **2.6.2. Problema**

Inexistencia de energía eléctrica para la optimización del proceso de obtención de materia prima en la industria láctea “Lácteos Latacunga”

### **2.7. Hipótesis**

La implementación del motor generador Deutz de 25 KW permitirá la introducción de equipamiento tecnológico en las granjas de obtención de materia prima de la Industria Láctea “Lácteos Latacunga”, lo cual permitirá la optimización de tiempo de extracción en un 58.33%.

## 2.8. Objetivos.

### 2.8.1. Objetivo general

Desarrollar una reconversión tecnológica con un sistema de control automático para el funcionamiento de un motor-generador Deutz F3L912 mediante el uso de elementos eléctricos y electrónicos para la industria láctea “Lácteos Latacunga”.

### 2.8.2. Objetivos específicos

- Definir los parámetros de funcionamiento del equipo electrógeno Deutz F3L912.
- Plantear el diseño de control eléctrico/electrónico para el motor generador Deutz de F3L912
- Implementar un tablero de control automatizado para en funcionamiento del equipo de generación externa.

## 2.9. Descripción de las actividades y tareas compuestas con los objetivos establecidos

**Tabla 2.1** Sistema de actividades por objetivo.

| <b>Objetivos</b>  | <b>Tareas</b>  | <b>Medios de Verificación</b>           |
|---|--|---|
| - Definir los parámetros de funcionamiento del equipo electrógeno Deutz de 37 kW.                         | - Diagnóstico inicial de las condiciones generador.<br>- Recopilación de información bibliográfica.<br>- Revisión de manuales de servicio. | - Revisión de Fichas técnica            |
| - Plantear el diseño de control eléctrico/electrónico para el motor generador Deutz de 25kW               | - Selección de elementos eléctricos y electrónicos.<br>- Diseño del Diagrama eléctrico.  | - Simulación del funcionamiento         |
| - Implementar un tablero de control automatizado para en funcionamiento del equipo de generación externa. | - Instalación de elementos eléctricos y electrónicos en el motor generador.<br>- Montaje del tablero de control.                           | - Funcionamiento del equipo electrógeno |

### 3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

#### 3.1. Industria Láctea

El ciclo de producción en la industria láctea tiene su origen en las haciendas ganaderas con la obtención de la leche por medio del ordeño de las vacas productoras, posteriormente es trasladada a los distintos centros de acopio o de industrialización donde la recepción de la misma constituye la primera fase en la elaboración de los distintos productos; a partir de este momento se diversifican los procesos y actividades auxiliares demandando cada uno de ellos un estudio específico para evaluar los principales aspectos [2].

##### 3.1.1. Sistema eléctrico en industria láctea

Las fábricas lácteas consumen considerables cantidades de energía, sobre todo en la creación de vapor. Mientras que un 20% del total se consume en energía eléctrica que es consignada a las máquinas de procesamiento, enfriamiento, ventilación y alumbrado. La producción de los derivados del líquido primario (Leche) depende altamente de la energía eléctrica. Por el contrario, por su alto consumo energético, constituye un razonamiento que requiere de alta noción técnica para controlar el sistema y asegurar resultados eficientes [3].

**Tabla 3.1** Consumo específico de energía para algunos productos lácteos (KWh/Litro producto).

|                     | <b>Electricidad</b> | <b>Combustible</b> | <b>Total</b> |
|---------------------|---------------------|--------------------|--------------|
| <b>Leche Fresca</b> | 0.05                | 0.12               | 0.17         |
| <b>Queso</b>        | 0.21                | 1.20               | 1.41         |
| <b>Mantequilla</b>  | 0.19                | 0.98               | 1.17         |

**Fuente:** [4]

### 3.1.2. Energía en la industria láctea

El uso de energía permite asegurar la calidad de los productos que ofrece la industria láctea, principalmente en la generación de vapor para los tratamientos térmicos y la refrigeración en la etapa de almacenamiento. Se considera que, en una planta procesadora de lácteos, aproximadamente un 80% del consumo total se obtiene a través de la combustión de combustibles fósiles (diésel, gas, etc.) en tanto que el 20% restante es energía eléctrica, y de esta, la refrigeración representa entre un 30 a 40% [4].

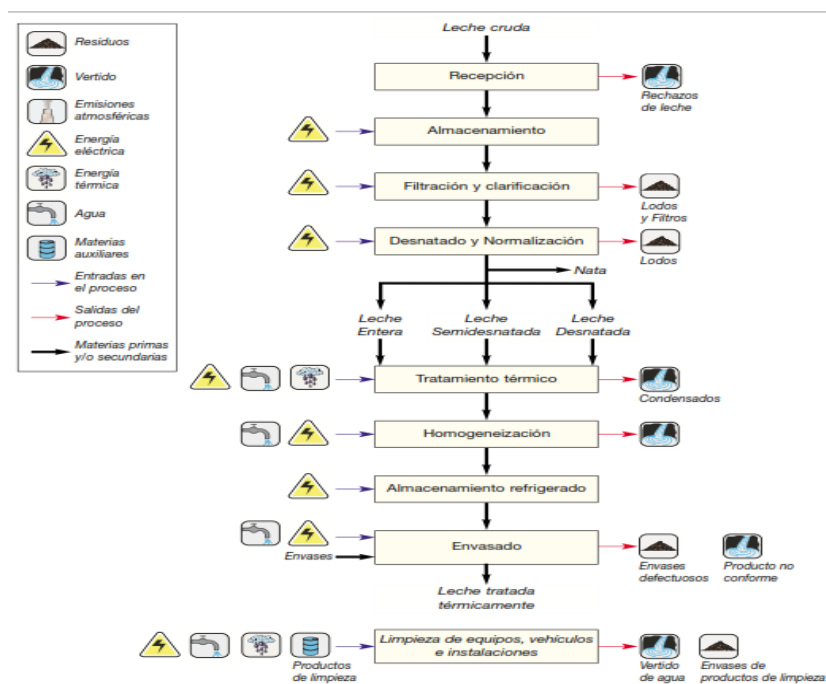


Figura 3.1 Procesos donde se utiliza energía eléctrica en la industria láctea.

Fuente: [4]

### 3.2. Grupo electrógeno

En la red eléctrica, los grupos electrógenos han sido empleados, por lo general, para remediar los cortes de energía de las redes de distribución, donde la ausencia de esta puede ocasionar daños importantes o donde la red eléctrica no se encuentra disponible, es escasa o no es rentable (lugares muy apartados o de difícil acceso donde transportar la electricidad de forma habitual no es

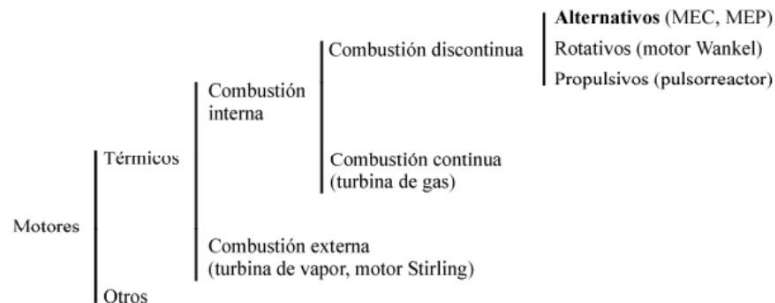
económico por los grandes trayectos, ejemplo: islas o pequeños asentamientos en parajes intrincados) [5]

De igual forma, el grupo electrógeno se ha establecido en un elemento de extrema necesidad y seguridad en grandes fábricas, servicios y todo lugar donde exista una movilidad de individuos. Los grupos electrógenos pueden proporcionar servicios generando [5].

- De forma perpetua durante 24 horas y continuamente como generación base.
- De forma discontinua para servicios donde es obligatorio equilibrar los consumos, cubrir picos excesivos de consumo.
- Como servicio de emergencia, en clínicas, dispensarios, etcétera [5].

### 3.2.1. Motor

El motor simboliza nuestra fuente de energía mecánica para que el generador gire y genere electricidad. Existe dos tipos de motores: Motores de gasolina y de diésel. Universalmente los motores Diésel son los más utilizados en los Grupos Electrógenos por sus tributos mecánicos, ecológicos y económicos [6].



**Figura 3.2** Clasificación de motores.

**Fuente:** [7]

### 3.2.2. Motor estacionario

Es un motor cuyo funcionamiento no incluye tener desplazamiento, si no que normalmente es utilizado para mover maquinaria fija, como pueden ser una motobomba o un generador eléctrico. Su diseño es macizo, con el objetivo de ser acondicionable en cuanto a su manejo y su capacidad

de ser ensamblado con una extensa variedad de máquinas; de acuerdo al tamaño y la potencia, los cuales varían, como no debe ser de otra forma, de acuerdo a las necesidades del trabajo a ejecutar y a las situaciones en las cuales se coloca en funcionamiento el equipo [8].

### **3.2.3. Motor de Combustión Interna**

Los motores de combustión interna son motores térmicos de desplazamiento efectivo o volumétricos, en los que el trabajo se alcanza mediante el desplazamiento lineal del émbolo de un mecanismo biela-manivela. Se llaman motores de combustión interna porque el estado térmico se crea en el propio fluido que evoluciona en el motor [9].

El motor, durante su trabajo, realiza una cadena de procesos que se repiten periódicamente y componen un ciclo termodinámico abierto (no puede ser cerrado al ser un motor de combustión interna). Los cinco procesos básicos que tienen lugar en un motor combustión interna son: Admisión, Compresión, Combustión, Expansión, Escape [9].

### **3.2.4. Ciclo Diésel**

Es el ciclo de referencia determinado a los motores de encendido por compresión para explicar de forma fácil e hipotética los procesos, siendo oportuno explicar que el ciclo mixto aproxima mejor a la realidad tanto al ciclo Otto como al diésel. La diferencia esencial entre el ciclo diésel y el ciclo Otto está en la fase de contribución del calor. En el ciclo Otto el calor era introducido a volumen constante, y en el ciclo diésel es introducido a presión constante. Otra diferencia entre los dos ciclos se halla en la relación de compresión; para los motores diésel está entre 14 a 24. Mientras que para los motores de encendido por chispa varía en torno a 6 y 10. Los dos especímenes de motores demandan la máxima relación de compresión para mejorar el rendimiento. Sin embargo, restringidos por el combustible, los motores de encendido incitado no deben exceder una cierta relación de compresión para no sufrir efectos como el cariado, mientras que los motores diésel demandan una relación de compresión mínima para garantizar el encendido por compresión y a partir de una determinada relación de compresión el aumento de rendimiento ya no compensa el aumento de costos y peso del motor capaz de tolerar las presiones que se formarían [10].

El ciclo diésel está constituido por 4 fases térmicas:

- 1-2 Compresión adiabática
- 2-3 Aportación de calor a presión constante
- 3-4 Expansión adiabática
- 4-1 Extracción de calor a volumen constante [10].

### **3.3. Generadores**

Los alternadores invierten la energía mecánica en energía eléctrica, en tanto que los motores transforman la energía eléctrica en energía mecánica, los generadores y motores eléctricos son muy semejantes, efectivamente, están contruidos de la misma forma general y, los dos, dependen de los mismos principios electromagnéticos para su funcionamiento [11].

Al principio primario se le denomina acción del generador y se le conoce asimismo como de inducción. El voltaje se puede incitar en un conductor que se encuentra adentro de un campo magnético, esto ocurre cuando el flujo magnético se interrumpe por el conductor. En ciertos casos, se mueve el alambre; en otros, se mueve el campo, y aún en otros, los 2 se mueven, pero a diferentes velocidades [11].

#### **3.3.1. Generador sincrónico**

Los generadores de corriente alterna, se les denomina como generadores síncronos o alternadores, cuyo propósito es establecer una conversión de energía mecánica en energía eléctrica, de corriente alterna, en un generador síncrono se aplica una corriente de c.c. al devanado del rotor, la cual produce un campo magnético, entonces el rotor del generador gira mediante un motor primario y produce un campo magnético rotacional dentro de la máquina, este campo magnético rotacional induce un grupo trifásico de tensión en los devanados del estator del generador, opera a una velocidad de sincronismo [12]

La frecuencia de trabajo para el sistema americano es de 60Hz, pero para el sistema europeo es de 50Hz, es decir, para un generador tetra polar operando a una frecuencia de 60Hz, su velocidad de rotación en revoluciones por minuto es de 1800rpm. Los generadores sincrónicos, el cual define que la frecuencia eléctrica producida esta entrelazada o sincronizada con la tasa mecánica de

rotación del generador, es decir, las r.p.m. de rotación mecánica están en sincronismo con las r.p.m. de la máquina eléctrica, en una descripción básica del generador, éste consta de un electroimán al cual se suministra corriente directa [12].

### 3.3.2. Tipos de construcción

La primordial diferencia entre los diferentes tipos de generadores sincrónicos, se halla en su sistema de alimentación en continua para la fuente de excitación ubicada en el rotor [13].

- **Excitación Independiente:** excitatriz independiente de continua que alimenta el rotor mediante un juego de anillos rozantes y escobillas [13].
- **Excitatriz principal y excitatriz piloto:** La máquina primordial de continua posee como bobinado de campo otra máquina de excitación independiente, encendido por el mismo eje [13].
- **Electrónica de potencia:** directamente, desde la salida trifásica del generador, se rectifica la señal con ayuda de un rectificador controlado, y desde el mismo se energiza directamente en continua el rotor mediante un juego de contactores anillos y escobillas. El arranque se inicia utilizando una fuente auxiliar hasta conseguir arrancar [13].
- **Sin escobillas, o diodos giratorios:** La fuente de continua es un rectificador no controlado ubicado en el mismo rotor alimentado en alterna por un generador colocado también en el mismo eje y cuyo bobinado de campo es excitado desde un rectificador controlado que rectifica la señal generada por el giro de unos imanes permanentes situados en el propio rotor [13].
- **Excitación estática:** También nombrada excitación por transformador de compoundaje, consiste en que el devanado de campo del rotor es alimentado desde una fuente de alimentación y rectificadores que toma la tensión y corriente de salida del estator. El transformador, de tipo especial, tiene dos devanados primarios, llamados de tensión e intensidad, que se enlazan en paralelo y en serie a los bornes de salida del estator. El transformador convierte la tensión de salida a una más baja, que se rectifica y aplica al rotor a través de escobillas y anillos deslizantes [13].

### **3.3.3. Generador sincrónico sin escobillas**

Este tipo de alternadores son de mediana potencia, para la excitación se podría poseer un banco de baterías que sería de respaldo, la excitatriz podría ser un alternador, es decir un generador sincrónico con polos salientes en el estator, después de esta fase, sale a una placa electrónica por la cual los dispositivos electrónicos, se consigna al circuito de excitación del generador principal. Para ejecutar reparaciones en este tipo de generadores, es preciso saber sobre dispositivos electrónicos, y concentrar en el controlador [13].

Debido a que no muestra ningún contacto mecánico entre el rotor y el estator estas máquinas solicitan mucho menos mantenimiento. [13]

### **3.3.4. Partes de un generador Sincrónico sin escobillas**

#### **3.3.4.1. Estator**

Parte fija de la máquina, ensamblada, envuelta del rotor de forma que el mismo pueda girar en su interior, también formado de un material ferromagnético cubierto en un conjunto de enrollamientos repartidos a lo largo de su circunferencia. Los enrollamientos del estator son alimentados por un sistema de tensiones alternadas trifásicas. Por el estator pasa toda la energía eléctrica generada, siendo que tanto la tensión en cuanto a corriente eléctrica que transita es bastante elevada en correspondencia al campo, que tiene como cargo sólo producir un campo magnético para "excitar" la máquina de forma que fuera posible la inducción de tensiones en las terminales de los enrollamientos del estator [13].

La máquina sincrónica está formada básicamente de una parte activa fija que se conoce como inducido o estator y de una parte giratoria coaxial que se conoce como inductor o rotor. El espacio entendido entre el rotor y el estator, es llamado como entrehierro. Esta máquina tiene la peculiaridad de poder trabajar ya sea como generador o como motor. Su operación como generador se ejecuta cuando se aplica un voltaje de c-c en el campo de excitación del rotor y a su vez éste es desplazado por una fuente externa, que da origen a poseer un campo magnético giratorio que atraviesa o corta los conductores del estator, induciéndose con esto un voltaje entre terminales del generador. [13]

### 3.3.4.2. Rotor

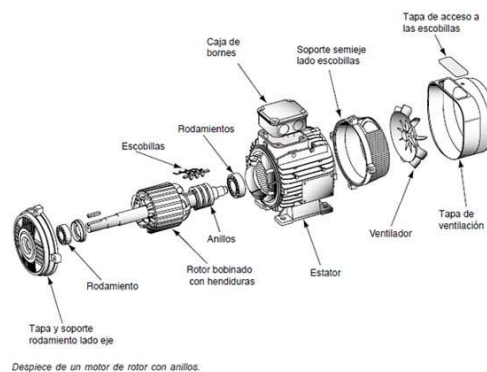
Es la parte de la máquina que efectúa el movimiento rotatorio, formado de un material ferromagnético envuelto en un enrollamiento llamado enrollamiento de campo, que tiene como objetivo generar un campo magnético constante, así como en el caso del generador de corriente continua para interactuar con el campo originado por el enrollamiento del estator. La tensión aplicada en ese enrollamiento es continua y la intensidad de la corriente aguantada por ese enrollamiento es mucho más pequeño que el enrollamiento del estator, igualmente el rotor puede contener dos o más enrollamientos, siempre en número par y todos conectados en serie siendo que cada enrollamiento será comprometido por la producción de uno de los polos del electroimán. [13]

### 3.3.4.3. Enfriamiento por aire

Estos generadores se dividen en dos tipos básicos: abiertos ventilados y totalmente cerrados enfriados por agua a aire. Los generadores de tipo OV fueron los primeros construidos, el aire en este tipo de generadores pasa sólo una vez por el sistema y considerable cantidad de materias extrañas que pueden acumularse en las bobinas, interfiriendo la transferencia de calor y afectando adversamente al aislamiento. [13]

### 3.3.4.4. Carcasa

Es la parte externa de la máquina que rodea al estator y comprende la cubierta, la base y los apoyos. En la cubierta se hallan los conductos y orificios para la ventilación [14].



**Figura 3.3** Partes de un generador sincrónico.

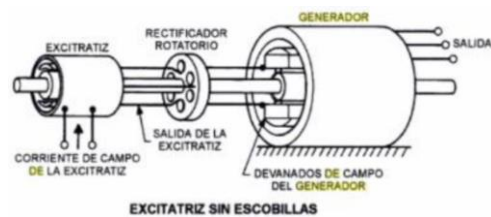
**Fuente:** [15]

### 3.3.5. Sistema de excitación

La energía se obtiene desde los terminales AC del a máquina sincrónica y convertido a DC por medio de rectificadores. La excitatriz incluye transformadores de potencia, inductancias de potencia y rectificadores de potencia los cuales pueden ser no controlados y/o controlados incluyendo circuitería de disparo. El regulador está encargado de acumular las variables de salida de la máquina sincrónica a la entrada de la excitatriz a través de la realimentación y transmitir a los elementos controladores las señales necesarias para regular las variables de la máquina sincrónica. El regulador universalmente consiste de un detector de error, preamplificador, estabilizadores, entradas auxiliares y limitadores. Los sistemas estabilizadores de potencia proveen una entrada adicional para el regulador para mejorar el comportamiento dinámico del sistema. Valores tales como velocidad del eje, frecuencia, potencia eléctrica de la máquina pueden ser usados como entradas para el sistema estabilizador de potencia. Otras señales modificadas incluyen limitadores y compensadores. Los limitadores actúan para limitar una variable por modificación o reemplazando la función del elemento detector primario cuando condiciones predeterminadas tienen que ser cambiadas [16].

#### 3.3.5.1. Excitatriz sin escobillas

En esta especie de excitatriz, se excluyen las escobillas y el conmutador con relación a la excitatriz de DC. La excitatriz en un alternador de AC con polos de campo estacionarios, el voltaje generador en corriente alterna, en los devanados giratorios, se modifica por medio de diodos montados en la parte giratoria. El voltaje en DC producido por rectificadores giratorios, se emplea directamente a los devanados del campo del generador, el regulador de voltaje controla la corriente de campo para lograr el voltaje deseado en los terminales [17].

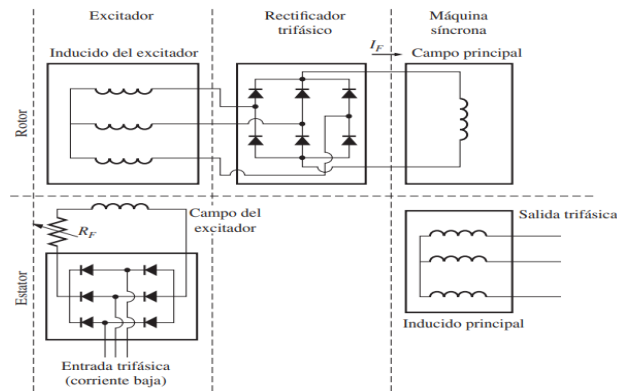


**Figura 3.3** Excitatriz sin escobillas.

**Fuente:** [17]

### 3.3.5.2.Circuito de Excitador sin escobillas

Se rectifica una mínima corriente trifásica y se utiliza para proporcionar el circuito de campo del excitador que se halla en el estator. Entonces se modifica la salida del circuito del inducido del excitador en el rotor y se utiliza para proveer la corriente de campo de la máquina principal [12].

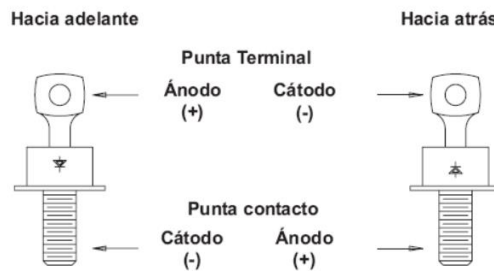


**Figura 3.3** Circuito de excitación.

Fuente: [12]

### 3.3.5.3.Corona de diodos rectificadores

La placa de diodos es la responsable de rectificar el campo de corriente continua a alterna, el cuál llega al rotor principal, el mismo que induce una corriente de salida hacia los bornes de conexión. Con el propósito de probar un diodo, se utiliza un verificador, al cual se conecta la punta positiva al ánodo del diodo y la punta negativa al cátodo del diodo. Con esto, el diodo se accionará y llevará electricidad. Esto se ve como una baja lectura cuando se usa el ohmímetro o la luz del bulbo cuando se usa un verificador de continuidad de luz de batería. Al cambiar los cables de prueba, da como resultado que se apague la luz del diodo y no exista paso de electricidad. El resultado de estas pruebas indicará una de tres condiciones [17].



**Figura 3.3** Polaridad de los diodos rectificadores.

Fuente: [17]

### 3.4. Automatización

La palabra automatización abarca un extenso campo de sistemas y procesos en los cuales se solicita la mínima interposición de las personas, también debe de ser un sistema “flexible” el cual se debe ajustar a modificaciones de distintas maneras a los posibles cambios en momentos exactos [18].

Para qué requiere las fábricas una mayor automatización.

- Para pretender extinguir los trabajos manuales en aquellas labores que soliciten una serie de conocimientos/habilidades especiales.
- Eliminación de trabajos repetitivos que perjudiquen la salud de las personas.
- Para mejorar la semejanza y calidad del producto.
- Para optimizar la producción, ya que se tiene un mejor control de la fabricación y se aumenta la producción reduciendo los costos de manufactura [18].

#### 3.4.1. Tipos de automatización

- La automatización fija: Este tipo de fabricación tiene un alto costo y se ha de tener en cuenta que su ciclo de vida es el mismo que el del producto que se fabrica [18].
- La automatización programable: En este caso los dispositivos de producción se diseñan para poder ser adaptables a los cambios de los distintos tipos de productos que se fabrican. Estos ajustes se ejecutan por medio de programación [18].
- La automatización flexible: Estos sistemas combinan tanto elementos de la automatización fija como programada. Suele estar formada por diferentes estaciones de trabajo interconectadas entre sí y controladas por un ordenador [18].

### **3.4.2. Arranque manual**

El arranque manual se origina a nuestra voluntad, es decir que cuando queramos disponer de la electricidad generada por el Grupo Electrógeno lo haremos iniciar de forma manual. Universalmente el accionamiento de arranque se realiza mediante una llave de contacto o pulsador de arranque de un mando electrónico con todas las funciones de vigilancia. Cuando se produzca un fallo del motor, cuando falte combustible o cuando la presión de aceite del motor sea muy baja, el mando electrónico lo parara automáticamente [19].

### **3.4.2. Sensores**

#### **3.4.2.1.Sensores por efecto hall**

En un conductor por el que circula una corriente, en presencia de un campo magnético perpendicular al movimiento de las cargas, se produce una separación de cargas que da lugar a un campo eléctrico transversal en el interior del conductor que es perpendicular al campo magnético aplicado [20].

#### **3.4.2.2.Transmisor hall**

Este efecto se produce cuando un cuerpo con cierta carga eléctrica pasa por un campo magnético, generando así una pequeña señal eléctrica, la misma que después de pasar por un circuito rectificador genera una señal de lectura Se utiliza como detector de revoluciones y de posición angular del cigüeñal [21].

#### **3.4.2.3.Transmisores de temperatura del líquido refrigerante y de aceite lubricante**

Se construyen en un cuerpo hueco de bronce para que pueda resistir los agentes químicos del refrigerante y tenga además una buena conductibilidad térmica. Está localizado generalmente cerca del termostato del motor, lugar que adquiere el valor máximo de temperatura de trabajo y entrega rápidamente los cambios que se producen en el refrigerante. En su parte anterior tiene un conector con dos pines eléctricos, aislados del cuerpo metálico. En el interior del cuerpo de bronce, se halla colocada la resistencia tipo NTC (Negative Temperature Coefficient); cuando aumenta la temperatura a la que es sometida, su resistencia experimenta una disminución en su valor y esta alteración, convertida en una variación de tensión es lo que se transmite al elemento asociado para

que pueda conocerse la temperatura. Esta señal, informa al computador la temperatura del refrigerante del motor, para que este pueda enriquecer automáticamente la mezcla aire - combustible cuando el motor está frío y la empobrezca paulatinamente en el incremento de la temperatura, hasta llegar a la temperatura ideal de trabajo, momento en el cual se mantiene la mezcla ideal [22].

### **3.5. Actuadores**

#### **3.5.1. Motor paso a paso**

Los motores paso a paso son equipos electromagnéticos, giratorios, incrementales que convierten pulsos digitales en rotación mecánica. La cantidad de giros es directamente proporcional al número de pulsos y la velocidad de rotación es relativa a la frecuencia de los pulsos [23].

Estos motores son fáciles de manejar en una configuración de lazo cerrado y debido a su tamaño proporcionan un excelente torque a baja velocidad. Entre los beneficios de estos motores se incluyen [23]:

- Un diseño efectivo y un bajo costo
- Alta confiabilidad
- Libres de mantenimiento (no disponen de escobillas)
- Lazo abierto (no requieren dispositivos de realimentación)
- Limite conocido al "error de posición dinámica" [23].

#### **3.5.1. Contactores**

Un contactor es un equipo electromecánico el realiza la función de establecer o interrumpir el paso de la corriente ya sea en un circuito de potencia o de mando, apenas se dé la tensión de la bobina. Los contactores poseen la capacidad de interrumpir la corriente eléctrica de un receptor, logrando ser accionado a distancia. Por sus peculiaridades es una pieza clave de la automatización en el motor eléctrico [24]

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1.Introducción

Mediante este proceso se puede determinar las magnitudes de entrada y salida en el sistema electrógeno, es así como se puede dividir en tres partes que son: el motor, el generador y el conjunto electrógeno, obteniendo así las variables independientes del motor que son la entrada de aire y suministro de combustible mediante estas dos variables obtenemos las variables de salida las cuales son las RPM y la contaminación.

En el caso del generador la variable dependiente del motor se convierte en la variable independiente del generador la cual es las RPM, obteniendo como variables dependientes para el generador la frecuencia y la tensión.

Para la parte del sistema electrógeno se toma en cuenta como variables de entrada a las variables independientes del motor y para las variables de salida tomamos en cuenta las variables dependientes del generador.

### 4.2.Variables

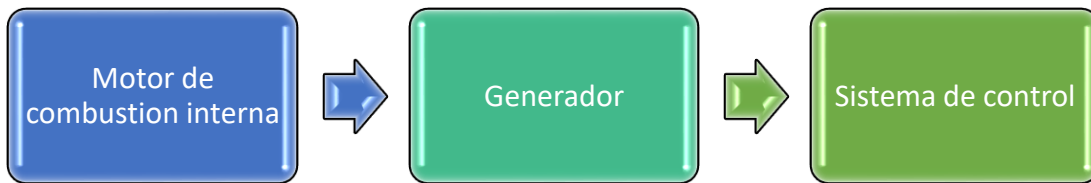
La siguiente tabla muestra las variables de entrada y salida del sistema electrógeno y sus variables dependientes he independientes.

**Tabla 4.1** Variables de entrada y salida del grupo electrógeno.

| Variables de entrada (Motor)     |                      |                        |                      |
|----------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Variable independiente           |                      | Variable dependiente   |                      |
| Parámetro                        | Símbolo/<br>Magnitud | Parámetro              | Símbolo/<br>Magnitud |
| Cantidad de aire                 | v[mm <sup>3</sup> ]  | Rpm                    | $\omega$ [rad/s]     |
| Cantidad combustible             | v[mm <sup>3</sup> ]  | Consumo combustible    | v/h                  |
| Variables de entrada (generador) |                      |                        |                      |
| Variable dependiente             |                      | Variable independiente |                      |
| Parámetro                        | Símbolo/<br>Magnitud | Parámetro              | Símbolo/<br>Magnitud |
| RPM                              | $\omega$ [rad/s]     | Frecuencia             | F[Hz]                |
|                                  |                      | Tensión                | V[v]                 |

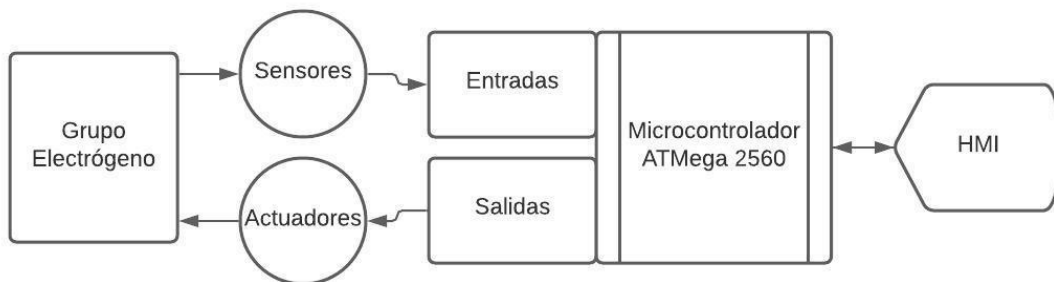
### 4.3. Metodología de control de grupo electrógeno

Los motores de desempeño estacionario asociados a generación eléctrica, comúnmente de baja y media potencia, poseen un sin número de aplicaciones en sitios de difícil ingreso y habitualmente no cuentan con la instrumentación solicitada para que el cliente logre entablar su conveniente desempeño. En ciertos equipos electrógenos, la implementación vinculada a los motores de combustión es de tipo análogo y los diferentes tipos de alertas se ofrece por medio de señales luminosas y sonoras. Dichos sistemas de señalización no ofrecen un grado de confianza conveniente y tienen la posibilidad de solicitar formación previa del cliente para su identificación y adecuado desempeño. El conjunto electrógeno consta de tres partes fundamentales como se indica en el siguiente diagrama.



**Figura 4.1** Diagrama de bloques del grupo electrógeno

Para hacer el diseño, selección y el acondicionamiento de los diversos tipos de cambiante, se ha procedido a hacer pruebas a los sensores existentes en la actualidad, para tomar datos y tabularlos, de esta manera obtener las ecuaciones que indicaran el comportamiento de cada sensor y por consiguiente se ha definido el módulo central del conjunto electrógeno de la siguiente forma.



**Figura 4.2** Diagrama de funcionamiento del grupo electrógeno

### **4.3.1. Implementación, motor.**

Las variables a dar seguimiento en el motor de combustión son: número de revoluciones, presión de aceite y temperatura de trabajo. Como recursos de captación se usaron: un sensor de proximidad inductivo LJ12A3-4-Z/BX y una corona dentada acoplada a la polea de la punta del cigüeñal en el motor; un sensor LM35DZ, debidamente posicionado para identificar los cambios de la temperatura, además, un sensor de platino para luz de testigo de la presión de aceite; variables reflejadas en una pantalla HMI.

#### **4.3.1.1. Velocidad de rotación**

Los motores estacionarios, poseen un procedimiento mecánico para la medida de la velocidad, esta medida es controlada por el paso de combustible en la bomba de inyección para la situación de un motor diésel. Por ser un sistema mecánico se puede desajustar y el motor puede exponer inconvenientes de alta o baja rapidez. El diseño planteado usa un sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BX y un anillo de 8 paletas acoplados al eje del motor.

Teniendo presente el extenso rango de velocidades del motor, se necesita implantar la base de tiempo para el conteo de los pulsos. Para la velocidad se toma el pulso de interrupción cada 0.250 mili segundos, esto con el objetivo de tener velozmente los datos de la rapidez en la operación de arranque, la cual posibilita una lectura con bajo error relativo.

Como función de transferencia podemos determinar.

$$RPM = \frac{n * 60 * 1000}{P * Tm} \quad (4.1)$$

Donde.

n = Número de pulsos franco de bajada.

P = Número de paletas de anillo.

Tm = Tiempo de muestreo

#### **4.3.1.2. Interruptor de presión de aceite**

Los motores diésel cuentan con una bomba de aceite que se encarga de aspirar el aceite que se encuentra en el cárter y hacerlo circular por medio de red de ductos para la lubricación interna del motor. La presión del aceite en un arranque en gélido comúnmente este alrededor de entre 120 a 150 psi. Si el émbolo que regula la presión está operando apropiadamente, entonces la presión de aceite deberá caer de vuelta a alrededor de 65 psi una vez haya alcanzado la temperatura regular de operación. Una baja presión de aceite puede ser ocasionada por un desgaste interno en la bomba del aceite, por fugas en el motor o por un descuido del operario al no proporcionar el aceite necesario en el cárter.

#### **4.3.1.3. Temperatura del motor.**

Todos los motores de combustión poseen un límite de temperatura para su operación común, de sobrepasar este grado se poseen inconvenientes de lubricación por reducir la viscosidad del aceite, además tienen la posibilidad de tener inconvenientes de deformación de varias partes.

La toma de temperatura se puede hacer en algunas piezas del motor y dependiendo del sitio donde se tome se va a tener un valor distinto de temperatura para el grado de recalentamiento, Los sistemas modernos de enfriamiento por aire están diseñados para que los motores de combustión interna mantengan una temperatura homogénea que no debe exceder los 82° C de funcionamiento normal del motor.

El sensor añade una señal de tensión directa en su salida, proporcional a la temperatura estimada, puesto que esta tensión necesita ser acondicionada para su interpretación en el microcontrolador ATmega 2560.

La función de transferencia programada en el micro controlador es la siguiente.

$$T = \frac{S * 500}{E} \quad (4.2)$$

Donde

S = Valor del sensor

E = Valores posibles de muestreo (0-1024)

### **4.3.2. Implementación, generador.**

Para diseño y optimización de un sistema, para el control de los parámetros relacionados al funcionamiento de un grupo generador trifásico, se desarrolló un sistema de control de tensiones por medio de la utilización de voltímetro ZMPT101B, mientras tanto que para la medición de la corriente eléctrica se usó el sensor SCT013 de gancho no invasivo. El procesamiento de la información se hace con el microcontrolador ATmega 2560, al cual se adaptó dispositivos para el acondicionamiento de las señales. La utilización posibilita la visualización de las cambiantes por medio de una pantalla HMI para su control.

#### **4.3.2.1. Tensión generada**

Este sensor ZMPT101B se ocupa de medir la tensión generada; como dispositivo de procesamiento de datos se usó un microcontrolador ATmega 2560, el cual captura la información y la almacena para su siguiente visualización en una pantalla HMI.

Se realiza el acondicionamiento de la señal de manera interna con un circuito amplificador operacional integrado de alta precisión, puesto que permite hacer el muestreo exacto de la señal y la compensación adecuada.

#### **4.3.2.2. Corriente consumida**

El diseño consta de un sensor de gancho SCT013 de corriente para el grupo generador trifásico, este sensor se ocupa de medir la corriente de cada línea R, S y T y de retener periódicamente los valores en los registros del microcontrolador ATmega 2560, para su siguiente visualización en una pantalla HMI.

Se realizará lecturas del ingreso analógico, luego escalamos los valores a voltaje (voltaje del sensor), y al final con la interacción (Corriente/Voltaje) que poseemos como dato del sensor obtendremos la corriente.

$$I = V_s * C_s \quad (4.3)$$

Donde.

I = Corriente

$V_s$  = Voltaje del sensor (Referencia interna \* Valores de muestreo)

$C_s$  = Capacidad del sensor (30A / 100A)

#### **4.3.2.3. Temperatura de bobinados**

Para el control de la temperatura en los bobinados del generador se utiliza una termocupla de tipo K con acondicionador de señal MAX 6675, para tener una referencia del comportamiento del estator durante la generación; señal que es controlada por el microcontrolador ATmega 2560 y posteriormente visualizada en la pantalla HMI para su control.

Debido a que la termocupla tiene un módulo acondicionador de señal propio, se considera la linealización de los valores para que sean más exactos con los equipos de medición

#### **4.3.3. Control de velocidad de grupo electrógeno**

Para el control de la velocidad se debe considerar que, una vez que un conjunto electrógeno tiene un alternador de 4 polos y una frecuencia de 50 Hz, la rapidez habitual es de 1500 RPM, y una vez que la frecuencia sea de 60 Hz, la rapidez usual es de 1800 RPM. Velocidad que debe ser controlada de forma automática por un control electrónico asistido por el microcontrolador ATmega 2560 pese a perturbaciones producidas por las cargas a las cuales está sometido el generador.

##### **4.3.3.1. PID**

Es considerado un módulo de control por realimentación que valora la desviación o error entre un valor proporcionado y el valor que se desea alcanzar, de esta manera aplicar una operación correctora que regule el proceso. El algoritmo para ajustar el control PID se considera en tres variables desiguales: la integral, el derivativo y la proporcional,

Este control será implementado para que, mediante una función de transferencia se pueda mantener una velocidad de rotación uniforme en el grupo electrógeno, independiente de la carga aplicada, a razón de mantener una tensión y una frecuencia constante.

La función de transferencia de la determina mediante la fórmula.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^r e(t) dt + K_p T_d \frac{d e(t)}{dt} \quad (4.4)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (4.5)$$

Donde.

$K_p$  = Ganancia proporcional

$T_i$  = Tiempo Integral

$T_d$  = Tiempo derivativo

#### 4.3.3.2. Actuadores de aceleración y apagado

Se considera el uso de motores paso a paso nema 17 con el driver A4988 a 2A, que cuentan con poleas que permiten la retracción al ser controlados por el microcontrolador ATmega 2560 en función del tiempo y la programación PID. Uno de ellos cuenta con una caja reductora que permite disminuir la tensión en el cable de aceleración como se muestra en la figura.



**Figura 4.3** Motor paso a paso para apagado.



**Figura 4.4** Motor paso a paso para aceleración.

#### 4.3.4. Implementación tablero de control

##### 4.3.4.1. Circuito Integrado

El diseño de la placa de control se desarrolló mediante software a doble cara incluyendo los elementos necesarios para el funcionamiento, así como el microcontrolador ATmega2560 encargado del control, de igual manera los terminales para fuente de alimentación, ingreso y salida de señales de utilidad para el grupo electrógeno como se muestra en figura.

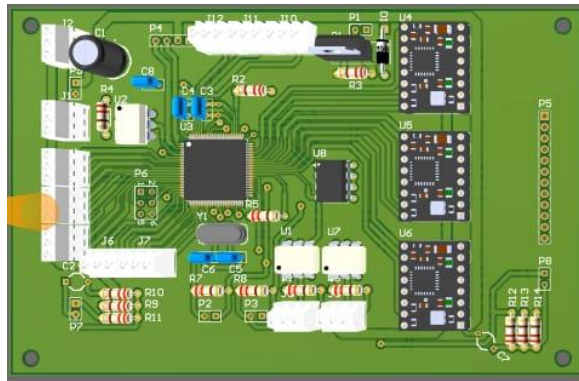


Figura 4.5 Diseño de la placa de control.

##### 4.3.4.2. Visualización de parámetros y control de grupo electrógeno

La visualización de los parámetros de funcionamiento, así como funciones de encendido y apagado del grupo electrógeno son plasmados en una pantalla touch screen Nextion NX8048T070 de 7"; la cual permite la interacción con el usuario mediante una interfaz visual diseñada bajo normativa.

##### 4.3.4.3. Indicadores

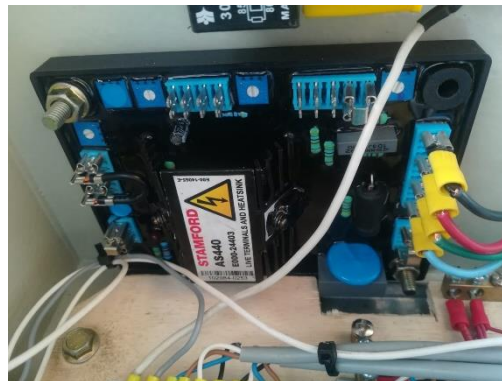
Los indicadores muestran de manera visual el cumplimiento de parámetros de funcionamiento mediante luces piloto con colores distintivos adecuados para la interpretación de presión de aceite, carga del alternador, tiempo de espera para el funcionamiento del equipo electrógeno y carga óptima para el funcionamiento de equipo electrógeno listo para la utilización.



**Figura 4.6** Luces piloto y paro de emergencia.

#### **4.3.4.4. Control AVR del generador**

Para la implementación y uso de la tarjeta AVR para el control de corriente de la excitatriz del generador se obtuvo mediante los datos de la placa propia del equipo. Permitiendo así el acondicionamiento o calibración de elemento en funcionamiento.



**Figura 4.7** Tarjeta AVR.

#### **4.3.4.5. Regulador de voltaje del alternador**

Al dejar en desuso elementos de generación obsoletos propios del grupo electrógeno como fuente de 12V en este caso en particular el uso del dinamo, se opta por la implementación de un alternador con características adecuadas para el reemplazo; elemento que debe tener un regulador externo de voltaje ubicado en el tablero de control para su supervisión.



**Figura 4.8** Módulo regulador de alternador.

#### **4.4. Metodología de consumo de combustible**

El consumo de combustible está directamente relacionado con la generación del grupo electrógeno y la carga que se le aplique al mismo.

##### **4.4.1. Volumen de combustible**

Dado que el reservorio de combustible es de forma cilíndrica se puede utilizar fórmulas matemáticas para determinar el consumo de combustible. Mediante la diferencia de volúmenes donde de la altura es la variable se define el empleo de combustible en una hora de trabajo con diferentes cargas aplicadas al grupo electrógeno.

$$V_c = \pi * r^2 * h \quad (4.6)$$

Donde.

$V_c$  = Volumen del cilindro

$r$  = Radio

$h$  = Altura

#### 4.5. Metodología de la curva de capacidad del generador

Para la curva de capacidad se debe obtener valores máximos y mínimos de trabajo del generador proporcionado por la placa de datos del mismo y tablas adecuadas para los cálculos.

##### 4.5.1. Potencia Activa.

$$P = \frac{E * V}{X_s} * \text{Sen}\delta \quad (4.7)$$

Donde.

E=Voltaje interno.

V=Voltaje inicial.

X<sub>s</sub>=Reactancia sincrónica

##### 4.5.2. Potencia Reactiva.

$$Q = \frac{E * V}{X_s} * \text{Cos}\delta - \frac{V^2}{X_s} \quad (4.8)$$

Donde.

E=Voltaje interno.

V=Voltaje inicial.

X<sub>s</sub>=Reactancia sincrónica.

##### 4.5.3. Corriente máxima.

$$E_a = V_{\emptyset} + jX_s I_a \quad (4.9)$$

Donde.

V<sub>∅</sub>=Voltaje Trifásico

X<sub>s</sub>=Potencia Sincrónica

I<sub>a</sub>=Intensidad máxima en el inducido

#### 4.5.4. Reactancia sincrónica.

$$X_s = \frac{X_d + X_q}{2} \quad (4.10)$$

Donde.

$X_q$ =Voltaje reacción de armadura

$X_d$ =Caída de reactancia en armadura

#### 4.5.5. Tensión generada en los terminales del estator

La rotación del eje del rotor produce que el flujo enlazado en bobina del estator sea inconstante de tal manera que se induce un voltaje debido a esta transición.

$$e(t) = k * B * \omega * \sin(\omega t) = E_{max} * \sin(\omega t) \quad (4.11)$$

Donde:

$e(t)$  = Tensión Generada en los polos.

$k$  = Constante del diseño de la máquina.

$B$  = Densidad del flujo

$\omega$  = Velocidad mecánica del rotor.

#### 4.5.6. Frecuencia eléctrica.

En un generador con una mayor cantidad de polos, la frecuencia eléctrica es equivalente a:

$$f = \frac{n_s * P}{120} [Hz] \quad (4.12)$$

Donde:

$f$  = Frecuencia.

$n_s$  = Velocidad del giro del eje.

P = Números de polos del generador.

#### 4.5.7. Potencia de la máquina sincrónico.

$$E = (r_s + jx_s) * I * V \quad (4.13)$$

Donde:

E = Voltaje en vacío por fase.

$r_s$  = Resistencia sincrónica.

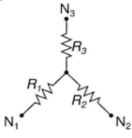
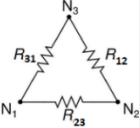
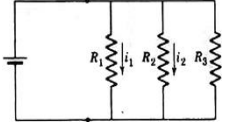
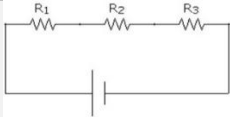
I = Corriente real por fase del estator.

V = Voltaje por fase

#### 4.6. Metodología de resistencias (Cargas)

Se considera diferentes tipos de conexiones para las cargas a fin de aumentar el consumo del generador por efectos de prueba.

**Tabla 4.2** Tipos de conexión de cargas.

| Conexión de Resistencias |   |
|--------------------------|---|
| Tipos de Conexiones      |   |
| Estrella                 |  |
| Triangulo                |  |
| Paralelo                 |   |
| Serie                    |   |

#### 4.6.1. Corriente Nominal

$$I_{carga} = \frac{P_{carga}}{V * \sqrt{3}} \quad (4.14)$$

Donde.

$I_{carga}$  = Intensidad nominal

$P_{carga}$  = Potencia

V = Voltaje

#### 4.6.2. Ley de Ohm

$$V = IR \quad (4.15)$$

Donde.

V: Voltaje

I: Intensidad

R: Resistencia

#### 4.6.3. Potencia

$$P = IV \quad (4.16)$$

Donde.

V: Voltaje

I: Intensidad

P: Potencia

#### 4.6.4. Resistencia en serie y paralelo

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_\infty \quad (4.17)$$

$$R_t = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_\infty} \quad (4.18)$$

## **4.7. Software a utilizar**

### **4.7.1. Nextion Editor**

Nextion es una solución de interfaz hombre-máquina (HMI que combina un procesador incluido y una pantalla táctil de memoria con el programa Nextion Editor para el desarrollo de proyectos HMI, en interfaz gráfica de usuario (GUI).

Con el programa Nextion Editor, puede desarrollar velozmente la GUI de HMI arrastrando y soltando elementos (gráficos, escrito, botón, control deslizante, etcétera.) e normas fundamentadas en escrito ASCII (Código Estándar De Estados Unidos para el intercambio de Información) para codificar cómo interactúan los elementos en el lado de la pantalla [25].

### **4.7.2. Altium designer**

Altium Designer es un conjunto de programas para el diseño electrónico en todas sus fases y para todas las disciplinas, ya sean esquemas, simulación, diseño de circuitos impresos, implementación de FPGA, o desarrollo de código para microprocesadores.

Un sistema completo de edición de circuitos impresos basado en reglas. Con potentes visores y mensajes. Estos son necesarios para la última tecnología de placas multicapa con vías/micro vías enterradas y ciegas. El rutado interactivo es totalmente personalizable con rutado de arcos, pares diferenciales, ajuste de anchos y vías, modo empujar pistas, eliminación de lazos.

### **4.7.3. Microchip Studio**

Microchip Studio es una plataforma de desarrollo incorporada (IDP) para desarrollar y depurar aplicaciones de microcontroladores AVR® y SAM. Combina cada una de las excelentes propiedades y funciones de Atmel Studio en el portafolio de herramientas de desarrollo bien soportado de Microchip para brindarle un ámbito fluido y simple de utilizar para redactar, construir y depurar sus aplicaciones escritas en C / C ++ o código ensamblador. Microchip Studio además puede importar sus bocetos de Arduino como proyectos de C ++ para brindarle una ruta de transición sencilla a partir del espacio de creación al mercado [26].

## 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL GRUPO ELECTRÓGENO DEUTZ F3L912

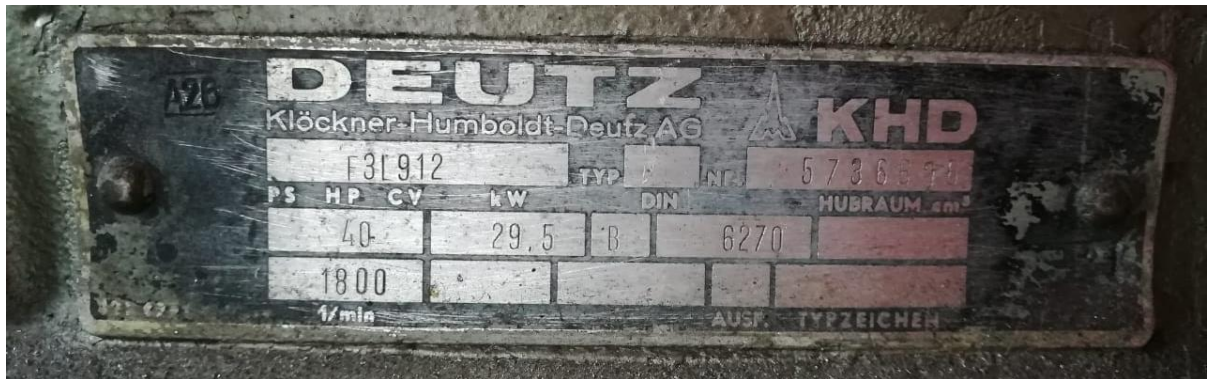
La implementación y equipamiento electrónico de cada elemento dentro del grupo generador es de vital importancia puesto que uno depende del otro para el funcionamiento automático y óptimo del equipo electrógeno; para dicho funcionamiento y monitoreo, todas las variables fueron acondicionadas para su posterior visualización, obteniendo de esta manera los datos necesarios para el control de aceleración automático gobernado por el PID, mejorando el tiempo de respuesta en aceleración de acuerdo a la carga aplicada permitiendo el ahorro de combustible de acuerdo a los KW generados. A continuación, se muestra los resultados obtenidos para el control del grupo electrógeno.

### 5.1. Motor de combustión interna

El motor de combustión interna propuesto para la implementación del grupo electrógeno, es un motor Deutz de tres cilindros de origen alemán enfriado por aire modelo F3L912 de las siguientes características.

**Tabla 5.1** Datos del motor.

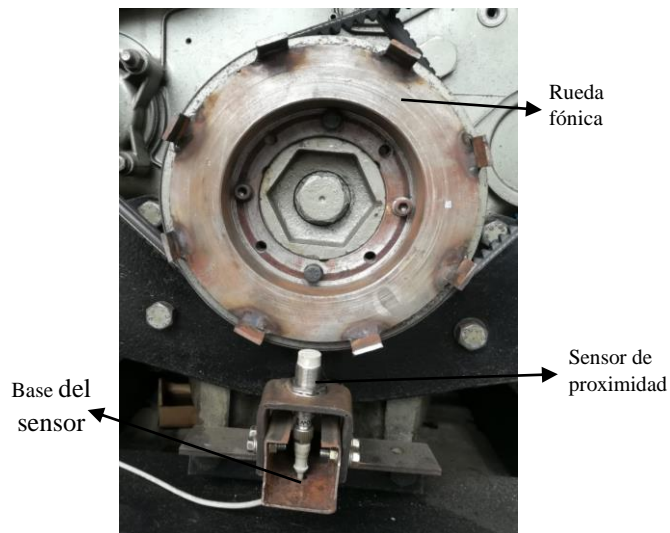
| <i>DATOS DEL MOTOR</i>                 | POTENCIA CONTINUA (PRP)           | POTENCIA EN EMERGENCIA (LTP) |
|--|-----------------------------------|------------------------------|
| Potencia Nominal [KWM]                 | 30                                | 33                           |
| Tipo de motor                          | 4 tiempos                         |                              |
| Tipo de Motor Revoluciones [RPM]       | 1800                              |                              |
| Número de Cilindros Cilindrada [L]     | 3 en línea                        |                              |
| Capacidad de Aceite [L]                | -                                 |                              |
| Consumo de Aceite (100%) [% Comb]      | 9                                 |                              |
| Consumo Combustible (100%) [gr/KWh]    | 0.5                               |                              |
| Diámetro / Carrera [mm]                | -                                 |                              |
| Relación de Compresión                 | 100 x 120                         |                              |
| Alimentación de Aire                   | 20                                |                              |
| Sistema de Arranque                    | Natural                           |                              |
| Tipo de Regulación Motor Arranque [KW] | Eléctrico                         |                              |
| Batería [Ah]                           | Mecánica / Electrónica (opcional) |                              |
|  | 3.1                               |                              |
|  | 1 x110                            |                              |



**Figura 5.1** Placa del Motor.

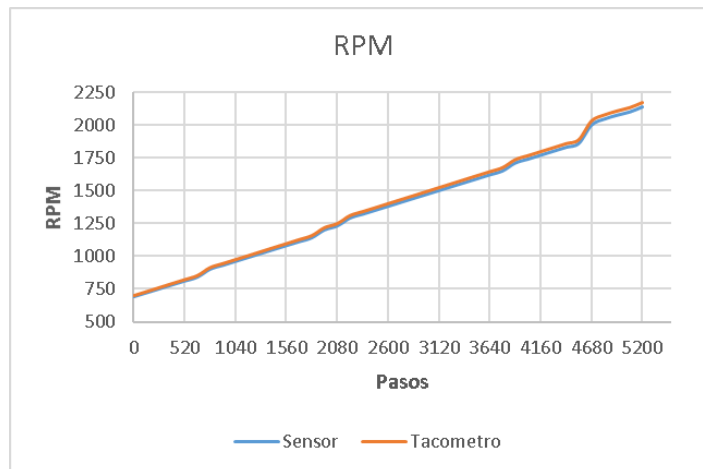
### 5.1.1. Velocidad de rotación

Para el control de velocidad del motor de combustión interna se considera el acondicionamiento del sensor de posición inductivo en conjunto de la rueda fónica de 8 paletas a una distancia de 4mm obteniendo así, la implementación de los elementos para su funcionamiento como se muestra en la figura.



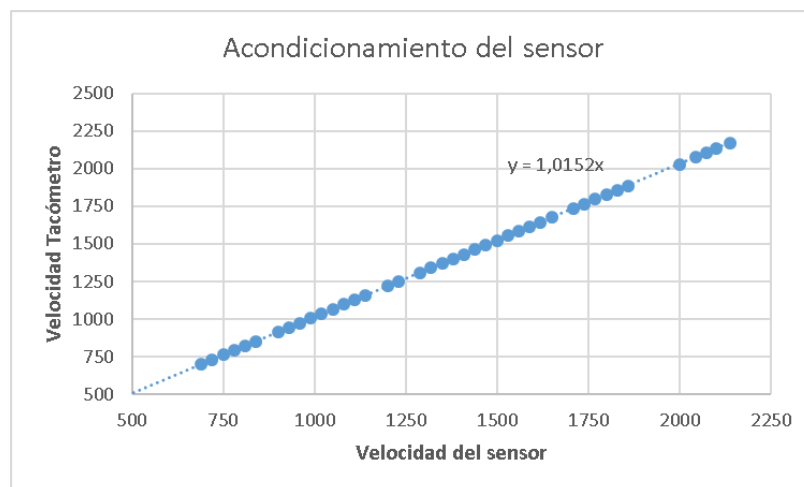
**Figura 5.2** Implementación del sensor de proximidad.

Realizando una comparación entre el sensor previamente programado en el microcontrolador con la función de transferencia (4.2) con el tacómetro digital como instrumento de medida, a fin de conocer la velocidad exacta del motor se obtiene la figura.



**Figura 5.3** Velocidad del sensor de posición.

Como se muestra en la figura la relación entre el valor medido por el sensor y el tacómetro se distorsiona con un error aproximado de 1.5 % por lo que se procede a realizar la linealización para obtener una función lineal para poder generar resultados más exactos obteniendo así la figura.



**Figura 5.4** Linealidad del sensor de proximidad.

De esta manera conseguimos la ecuación de linealidad  $y=1.0152x$  para ser implementado dentro de la programación del microcontrolador para proceder al accionamiento de la aceleración controlado por el PID.

### 5.1.2. Interruptor de presión de aceite

Como resultado del funcionamiento del interruptor de aceite se puede demostrar que tanto la bomba de aceite que es la encargada de generar presión y el sensor que se encarga de la activación y desactivación de la luz de alerta están trabajando de la manera adecuada con respecto a las condiciones de trabajo, tanto antes del encendido mostrando la luz de alerta encendido y la presión en cero como se muestra en la figura.



**Figura 5.5** Presión de aceite antes del encendido.

Así como después del arranque en ralentí y posteriormente en trabajo mostrando la luz de alerta completamente apagada y la presión de trabajo de la bomba en aproximadamente 65 psi.



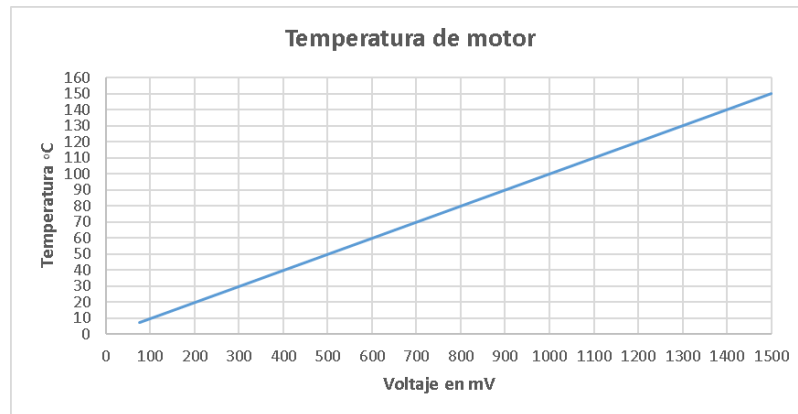
**Figura 5.6** Presión de aceite en ralentí.



**Figura 5.7** Presión de aceite a plena carga.

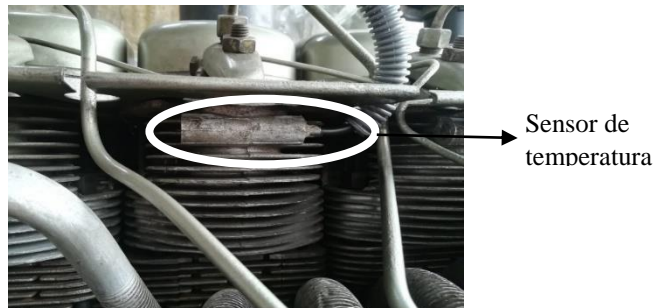
### 5.1.3. Temperatura del motor

En la prueba de temperatura de trabajo se utilizó el sensor LM35DZ con su adecuado acondicionador de señal, que de acuerdo con el fabricante se obtiene una recta linealizada con una relación de  $25^{\circ}\text{C} = 250 \text{ mV}$  o  $150^{\circ}\text{C} = 1500 \text{ mV}$  como se describe en la figura.



**Figura 5.8** Linealidad del sensor de temperatura.

De esta manera realizando la implementación del sensor como se muestra en la figura.



**Figura 5.9** Acondicionamiento sensor de temperatura

Se observa la temperatura inicial de trabajo en la figura y en funcionamiento con motor encendido en la figura



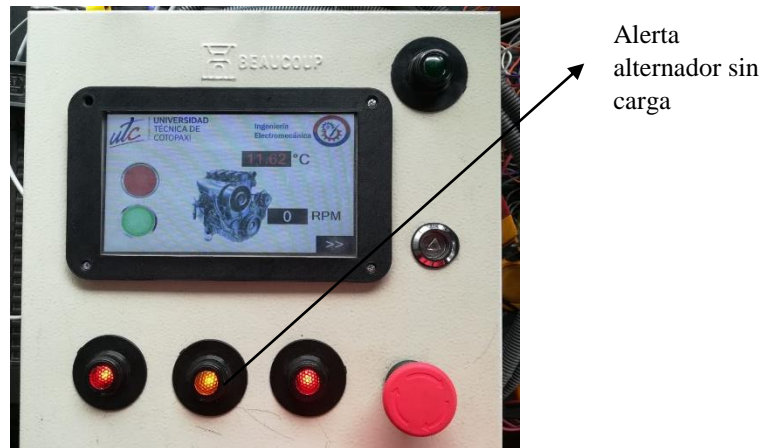
**Figura 5.10** Temperatura inicial.



**Figura 5.11** Temperatura con motor en funcionamiento.

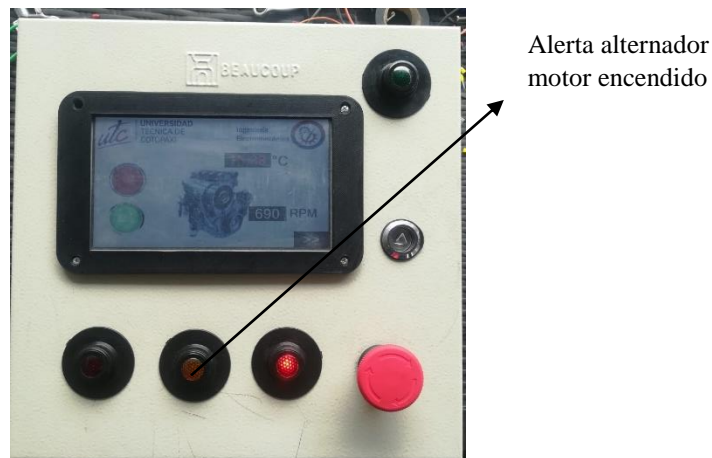
#### 5.1.4. Carga de alternador

Como parte de las modificaciones en el motor de combustión interna, se suspende el uso de dinamo de corriente directa por un alternador para realizar la carga de la batería. Brindando de esta manera mayor estabilidad en sistema de carga y conservando también los elementos electrónicos utilizados para la implementación como se muestra en la figura.



**Figura 5.12** Alternador antes de encendido.

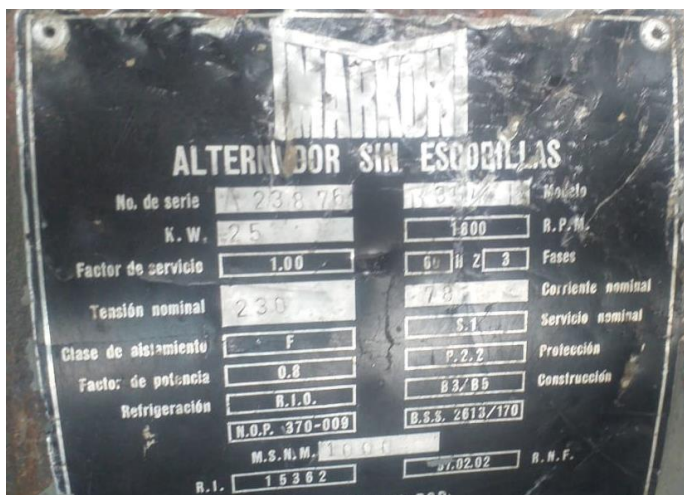
Para la comprobación de su funcionamiento se incluye el uso de luz de alerta la cual, controlada por el módulo regulador del alternador que estandariza la generación de voltaje entre 13.8V a 14.4V, ésta luz se enciende mientras el generador no está trabajando y se apaga cuando el generador empieza a funcionar como se muestra en la figura.



**Figura 5.13** Alternador a plena carga.

## 5.2. Generador

El generador propuesto para el ensamble del grupo electrógeno es un generador sincrónico sin escobillas con las siguientes características.



**Figura 5.14** Placa del Generador.

**Tabla 5.2** Datos del generador.

| <b>Datos del generador</b>           |       |
|--------------------------------------|-------|
| <b>Revoluciones.</b>                 | 1800  |
| <b>Potencia</b>                      | 25KW  |
| <b>Protección</b>                    | F     |
| <b>Aislamiento</b>                   |       |
| <b>Factor de Potencia</b>            | 0.8   |
| <b>Fases</b>                         | 3     |
| <b>Frecuencia</b>                    | 60Hz  |
| <b>Metros sobre el nivel del mar</b> | 1000  |
| <b>Refrigeración</b>                 | R.I.O |
| <b>Corriente</b>                     | 78 A  |
| <b>Tensión nominal</b>               | 230KV |

### 5.2.1. Ensamble del generador

Para la ensambladura del generador se realizó pruebas de resistencia de las bobinas del generador, el aislamiento entre bobinas, el aislamiento entre bobinas y la carcasa del mismo, además se obtuvo la medición de la resistencia y el aislamiento de la bobina del estator de la excitatriz.

**Tabla 5.3** Resistencia de las bobinas.

| <b>Resistencia de Bobinas</b> |  |
|-------------------------------|--|
| <b>Bobinas</b>                | <b>Resistencia (<math>\Omega</math>)</b> |
| A1-A2                         | 0.81                                     |
| A3-A4                         | 0.77                                     |
| B1-B2                         | 0.79                                     |
| B3-B4                         | 1  |
| C1-C2                         | 0.92                                     |
| C3-C4                         | 0.86                                     |

**Tabla 5.4** Aislamiento de bobinas.

| <b>Aislamiento entre bobinas</b> |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Combinación bobinas</b>       | <b>Aislamiento (<math>M\Omega</math>)</b> |
| A1-A2<br>A3-A4                   | 440                                       |
| A1-A2<br>B1-B2                   | 365                                       |
| A1-A2<br>B3-B4                   | 480                                       |
| A1-A2<br>C1-C2                   | 440                                       |
| A1-A2<br>C3-C4                   | 388                                       |
| A3-A4<br>B1-B2                   | 440                                       |
| A3-A4<br>B3-B4                   | 500                                       |
| A3-A4<br>C1-C2                   | 460                                       |
| A3-A4                            | 400                                       |

|       |     |
|-------|-----|
| C3-C4 |     |
| B1-B2 | 480 |
| B3-B4 |     |
| B1-B2 | 364 |
| C1-C2 |     |
| B1-B2 | 360 |
| C3-C4 |     |
| B3-B4 | 500 |
| C1-C2 |     |
| B3-B4 | 420 |
| C3-C4 |     |
| C1-C2 | 420 |
| C3-C4 |     |

**Tabla 5.5** Aislamiento de las bobinas con la carcasa.

| <b>Aislamiento entre bobinas y la carcasa</b> |   |
|---|---|
| <b>Bobinas</b>                                | <b>Aislamiento (M<math>\Omega</math>)</b> |
| A1-A2   | 360                                       |
| A3-A4   | 382                                       |
| B1-B2   | 358                                       |
| B3-B4   | 420                                       |
| C1-C2   | 400                                       |
| C3-C4   | 339                                       |

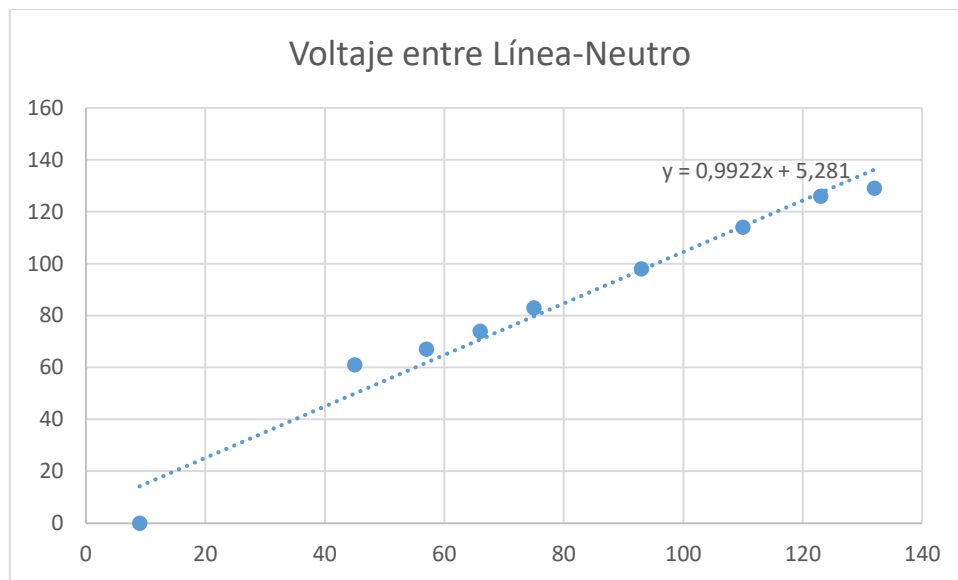
**Tabla 5.6** Resistencia de las bobinas del estator de la excitatriz.

| <b>Aislamiento del estator de la excitatriz</b> |                    |
|---|--------------------|
| <b>Bobina del estator</b>                       | <b>Aislamiento</b> |
| Bobina-Carcasa                                  | 80.1 M $\Omega$    |
| Bobina  | 18.51 $\Omega$     |

Con los datos obtenidos se puede comprobar que el aislamiento de las bobinas del generador están en perfecto estado ya que según la norma IEE Std 43-2000, en la tabla número 3 dice que para bobinas construidas después del año de 1970 los aislamientos deben estar sobre el rango de 100 mega ohmios.

### 5.2.2. Acondicionamiento de voltaje Línea-Neutro

Para la adquisición del voltaje se realizó pruebas de comparación entre el sensor utilizado para obtener la medida del voltaje y un multímetro, esto se logró teniendo en cuenta la posición del acelerador del motor.



**Figura 5.15** Acondicionamiento de voltaje línea-neutro.

En este caso mediante un análisis de linealidad que es el que más se aproxima a las mediciones del multímetro se sabe que el sensor de voltaje está generando valores próximos a los del instrumento de medición.

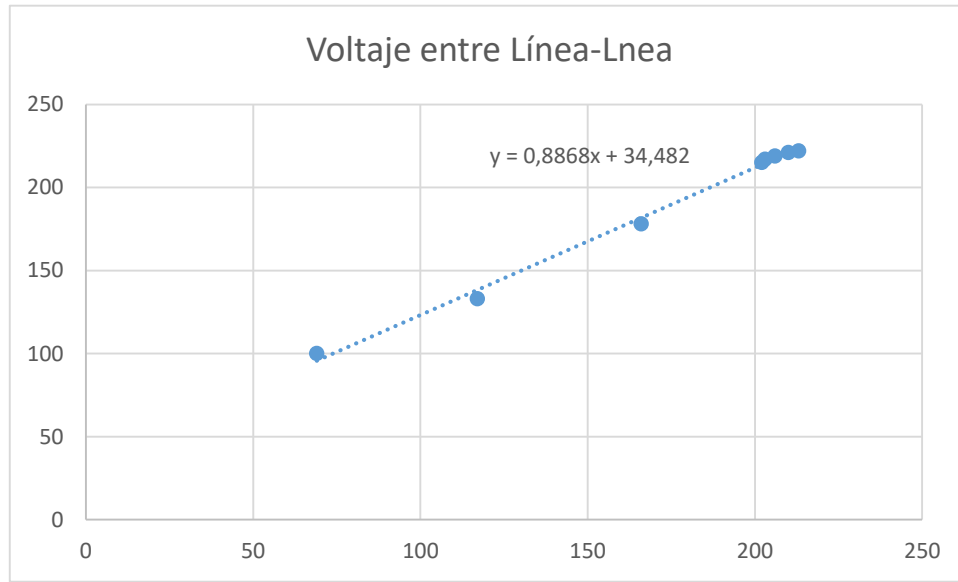
#### 5.2.2.1. Ecuación obtenida en la linealidad del voltaje línea-neutro

Para obtener los valores similares entre el sensor utilizado y el instrumento de medición se obtiene la ecuación del gráfico de linealidad para así poder condicionar la señal del sensor de voltaje ZMPT101B, dando como resultado valores reales y en el mismo rango del multímetro.

$$y = 0.9922x + 5.281$$

### 5.2.3. Acondicionamiento de voltaje línea-línea

De la misma manera que en la obtención de voltaje entre línea-neutro se realiza la adquisición del voltaje línea-línea es decir se realiza pruebas entre sensor instalado y equipo de medición externa, teniendo en cuenta la posición del acelerador.



**Figura 5.16** Acondicionamiento de voltaje línea-línea.

Se utiliza el análisis lineal por el motivo que es el que más se aproxima a los valores obtenidos entre los sensores de voltaje y el multímetro.

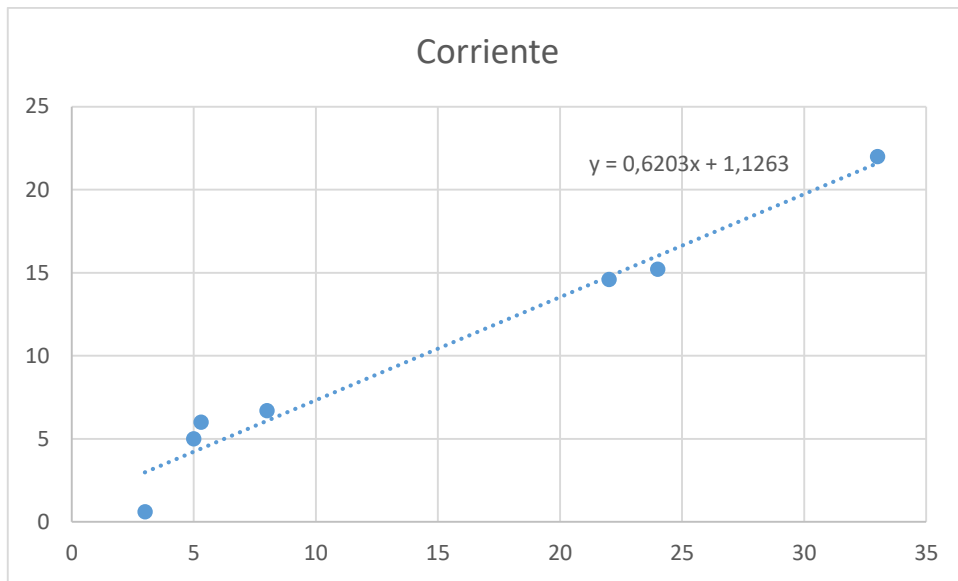
#### 5.2.3.1. Ecuación obtenida en la linealidad del voltaje línea-línea

Con la ecuación del gráfico obtenido de la linealidad se logra acondicionar la señal de los sensores de voltaje instalados, obteniendo valores reales y similares al instrumento de medición externo.

$$y = 0.8868x + 34.48$$

### 5.2.4. Acondicionamiento de Corriente de las líneas

Se realiza una comparación entre un instrumento de medición externo y el sensor de corriente no invasivo instalado, manteniendo instalada la misma carga para las dos mediciones.



**Figura 5.17** Acondicionamiento de corriente.

Se utiliza una función de linealidad ya que es la que más se aproxima a los valores del instrumento de medición externo y el sensor instalado.

#### **5.2.4.1. Ecuación obtenida en la linealidad de la corriente**

$$y = 0.6203x + 1.1263$$

Con esta ecuación obtenida de la función de linealidad se puede condicionar la señal que toma el sensor de intensidad AC no invasivo SCT013 para adquirir valores reales y similares al instrumento de medición externa.

#### **5.2.5. Acondicionamiento de señal de temperatura de los bobinados**

Se utiliza el acondicionador de señal MAX6675 el cual toma la señal, lo acondiciona y lo refleja en la pantalla.

### **5.3. Control de potencia**

Para controlar la salida de potencia del generador se utiliza un disyuntor de 80A-100A debido a la corriente nominal dada en la placa (80A), además se toma en cuenta la intensidad máxima de la carga que se le puede aplicar utilizando la fórmula (4,14).



**Figura 5.18** Protección de corriente nominal.



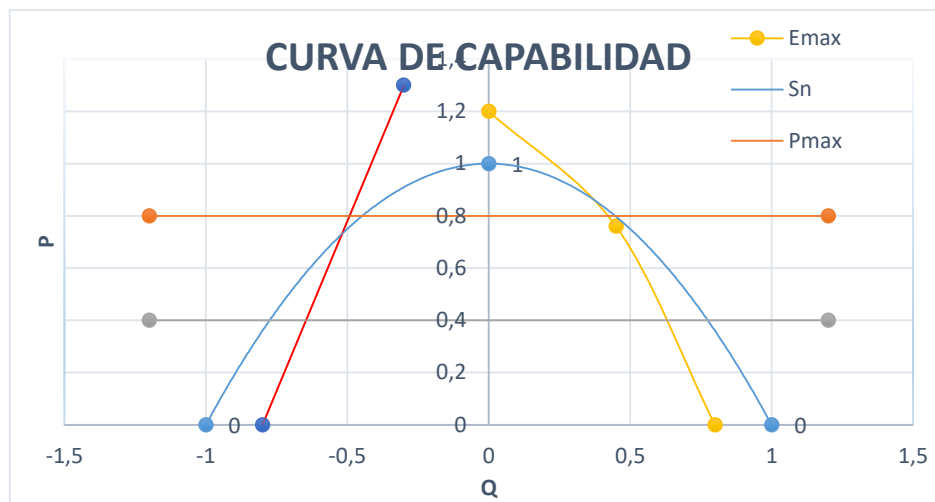
**Figura 5.19** Salidas de potencia.

#### 5.4. Curva de Capabilidad

La curva de Capabilidad nos demuestra los límites y rangos que el generador produce en sus óptimas condiciones.

**Tabla 5.7** Límites del generador.

| <b>Columna1</b>        | <b>Nominal</b> | <b>Base</b> | <b>Pu</b> |
|------------------------|----------------|-------------|-----------|
| <b>Sn</b>              | 31.25KVA       | 31.25KVA    | 1         |
| <b>Pmax</b>            | 25KW           | 31.25KVA    | 0.8       |
| <b>Pmin</b>            | 12.5KW         | 31.25KVA    | 0.4       |
| <b>Un</b>              | 230 V          | 230V        | 1         |
| <b>E<sub>max</sub></b> |                |             | 1.20      |



**Figura 5.20** Curva de capacidad del generador.

En la gráfica se encuentran los valores límites del generador expresados en por unidad  $P_u$ , se observa que el generador se encuentra en óptimas condiciones para su operación.

Esta grafica nos permite protegerle al generador de los daños que pueden ser ocasionados para mal uso o por una operación inadecuada.

**Tabla 5.8** Resistencias utilizadas.

| Resistencias ( $\Omega$ ) |      |
|---------------------------|------|
| R1                        | 33   |
| R2                        | 32.4 |
| R3                        | 32.4 |
| R4                        | 32.9 |

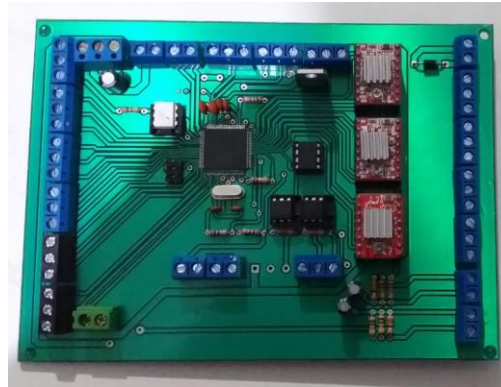
**Tabla 5.9** Carga Instalada.

| Conexión de resistencias |                         |             |
|--------------------------|-------------------------|-------------|
| Conexión                 | Resistencia( $\Omega$ ) | Potencia(W) |
| Serie                    | 130.7                   | 5600        |
| Paralelo                 | 32.64                   | 1398.5      |
| Estrella                 | 21.72                   | 930.61      |
| Triangulo                | 48.87                   | 2093.89     |

### 5.5. Control del grupo electrógeno

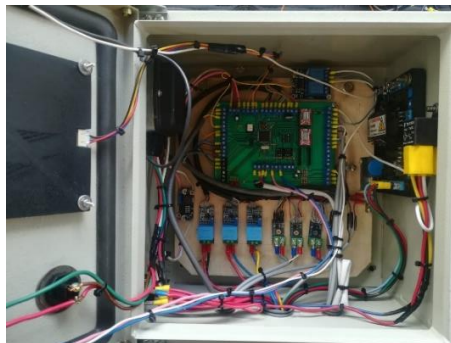
El grupo electrógeno como conjunto motor-generator debe cumplir parámetros de funcionamiento para poder producir energía eléctrica, es decir que se establece por el fabricante y las placas de datos una velocidad nominal del motor de combustión de 1800 RPM para que el generador pueda producir una tensión de 220V a 60HZ.

El control de estos parámetros esta comandado por el microcontrolador ATmega 2560, dentro del tablero de control acondicionado electrónicamente por una placa previamente diseñada como se muestra en la figura

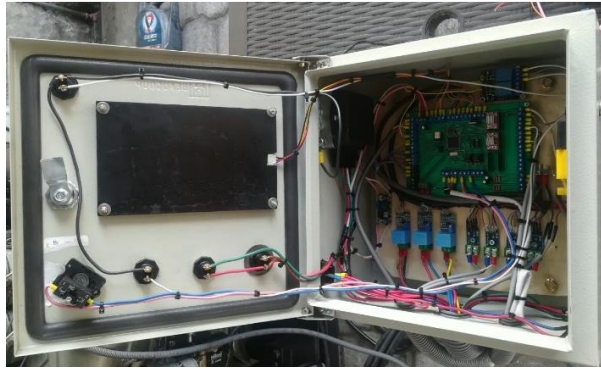


**Figura 5.21** Placa de control.

Adicional a lo antes mencionado se procede con la implementación eléctrica/electrónica a la placa de control dentro del tablero, conjuntamente con los acondicionadores de señal de los sensores y módulos de control externo como: la tarjeta AVR para el control del generador, modulo regulador de voltaje del alternador, relay de encendido del motor, pantalla HMI, luces de alerta y parado de emergencia. Como se muestra en las figuras.



**Figura 5.22** Implementación de la placa de control.



**Figura 5.23** Implementación de la pantalla y luces.

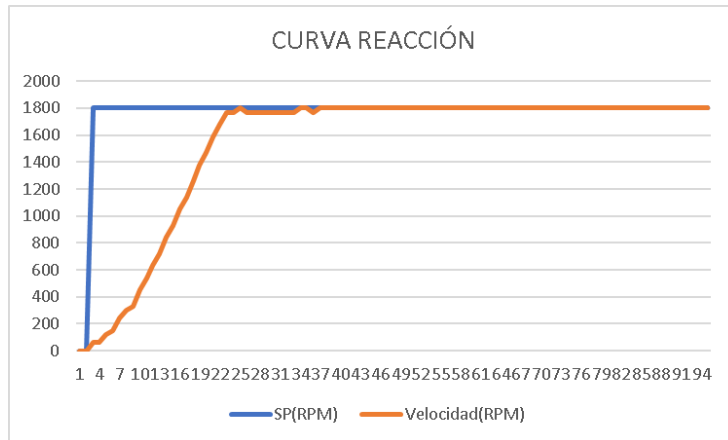
### **5.5.1. Control de aceleración PID**

Realizada la implementación eléctrica/electrónico del tablero de control y mediante el uso de interfaz de programación se carga en el microcontrolador las líneas de código específicas para la lectura de datos de los sensores y posteriormente el accionar de los actuadores en este caso en específico los motores paso a paso NEMA 17; cuya aceleración está controlada por la función de transferencia del PID, que está establecido a actuar después de un periodo de tiempo determinado, puesto que el motor de combustión interna necesita precalentar antes de su trabajo a plena carga, evitando así desgaste internos por aceleraciones bruscas debido a la falta de lubricación aumentando el tiempo de vida útil de los elementos.

Para la función de transferencia utilizamos la formula (4,4) y (4,5) obteniendo de esta manera la curva característica del control PID y los valores de las constantes para ser utilizados en la programación.

#### **5.5.1.1. Curva de reacción**

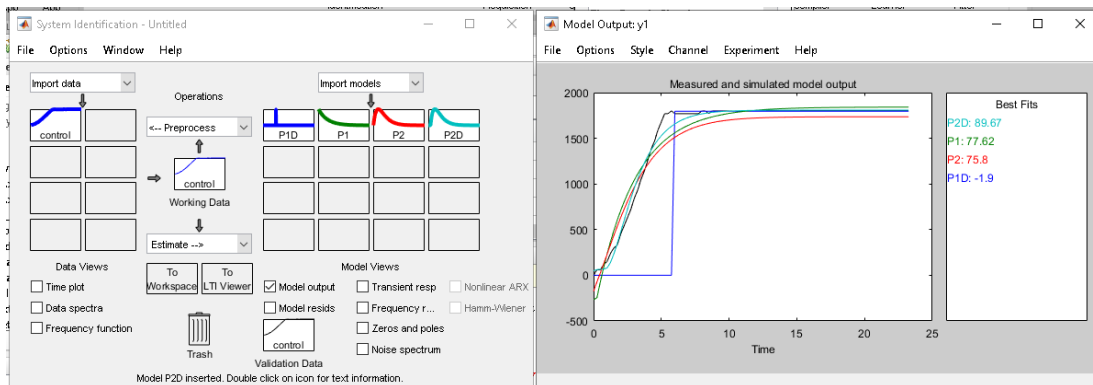
Se estima los valores mediante pruebas de funcionamiento y registro de datos, de la velocidad del motor para que con el control de aceleración pueda llegar al set point o nivel de referencia que en este caso son las 1800 RPM obtenido así la figura



**Figura 5.24** Curva de reacción.

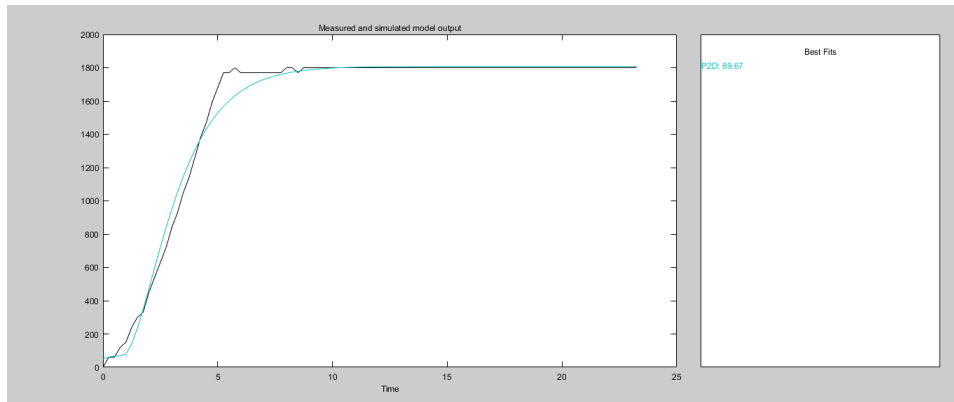
### 5.5.1.2. Modelo matemático del PID

Utilizando los valores de la curva de reacción se puede establecer un modelo matemático de la misma obteniendo funciones aproximadas a la reacción necesaria. Mediante los porcentajes de aproximación definimos la curva de mejores características para el sistema como se muestra en la figura.



**Figura 5.25** Modelos matemáticos de curva de acondicionamiento.

Siendo el modelo P2D la función más aproximada con una efectividad del 89.67%, a diferencia de las otras curvas de aproximación que muestran  $P1 = 76,77\%$ ,  $P2 = 75.8\%$  y  $P1D = -1.9\%$  obteniendo la figura



**Figura 5.26** Modelo matemático.

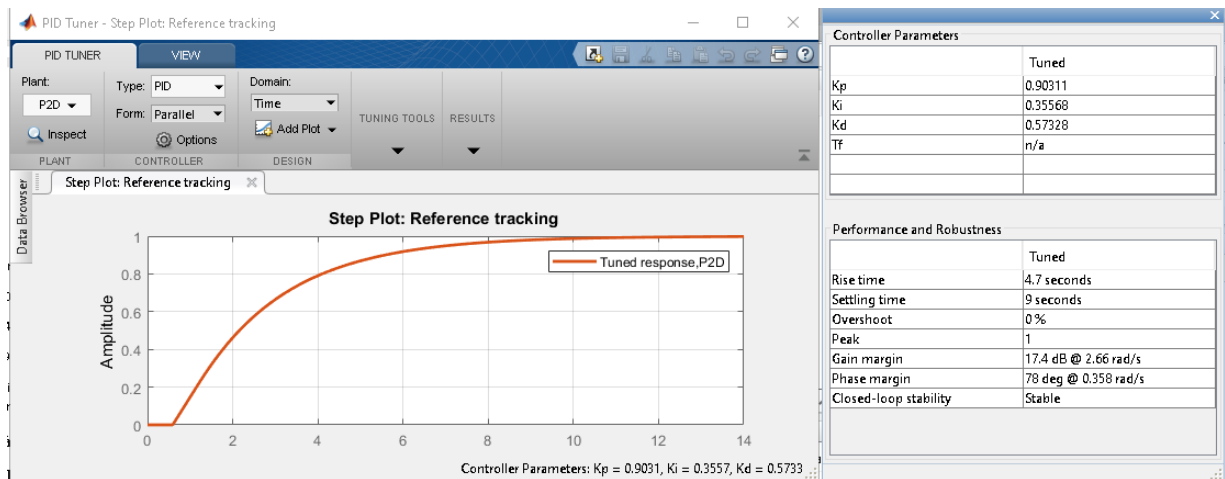
Obteniendo como resultados:

$$K_p = 1.0045$$

$$T_i = 1.2542$$

$$T_d = 0.591$$

Acondicionando los parámetros para el funcionamiento del control mediante software podemos determinar las siguientes variables representado en la figura.



**Figura 5.27** Constantes PID.

Con los valores característicos de un control PID como son  $K_p$ ,  $K_d$  y  $K_i$  de 0.90311, 0.35568 y 0.57328 respectivamente, además de los valores de sobre impulso Overshoot de 0%, el tiempo de establecimiento de 9s; se asegura el funcionamiento óptimo del sistema de control PID. Mismo que es implementado en el microprocesador para probar su funcionamiento.

### 5.5.2. Funcionamiento del generador y luces de alerta

El control del generador está determinado por la tarjeta de control AVR en conjunto con los actuadores de la aceleración del motor, cuando el grupo electrógeno llegue a los parámetros establecidos de su funcionamiento es decir genere 220V a 60HZ deja de funcionar y para tener un control visual independiente de los valores reflejados en la pantalla HMI, se consideró el uso de luces de alerta que muestran el estado de reposo antes de la generación y cuando el generador está a carga completa, identificados en el tablero de control como se muestran en las figuras.



Figura 5.28 Luz de alerta antes de la carga.

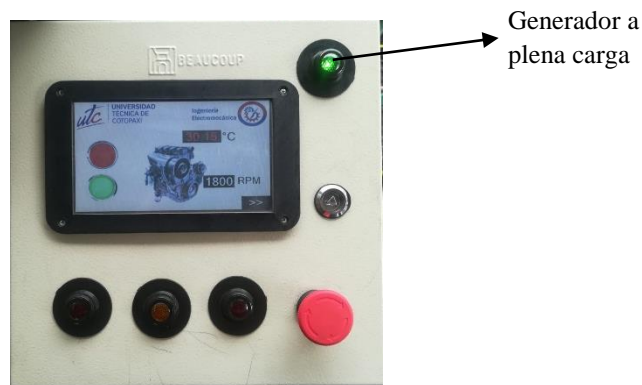
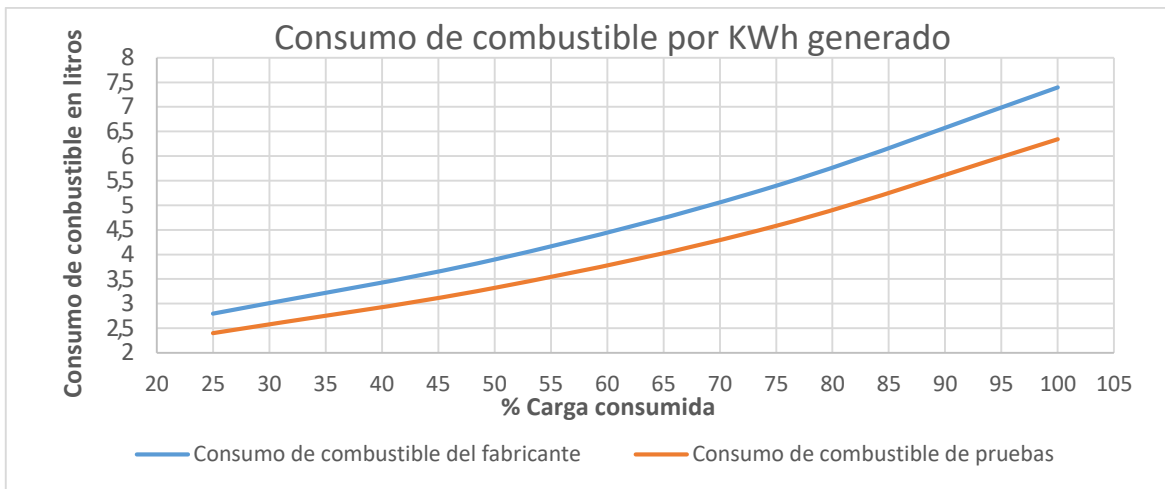


Figura 5.29 Luz de alerta a plena carga.

### 5.6. Consumo vs generación

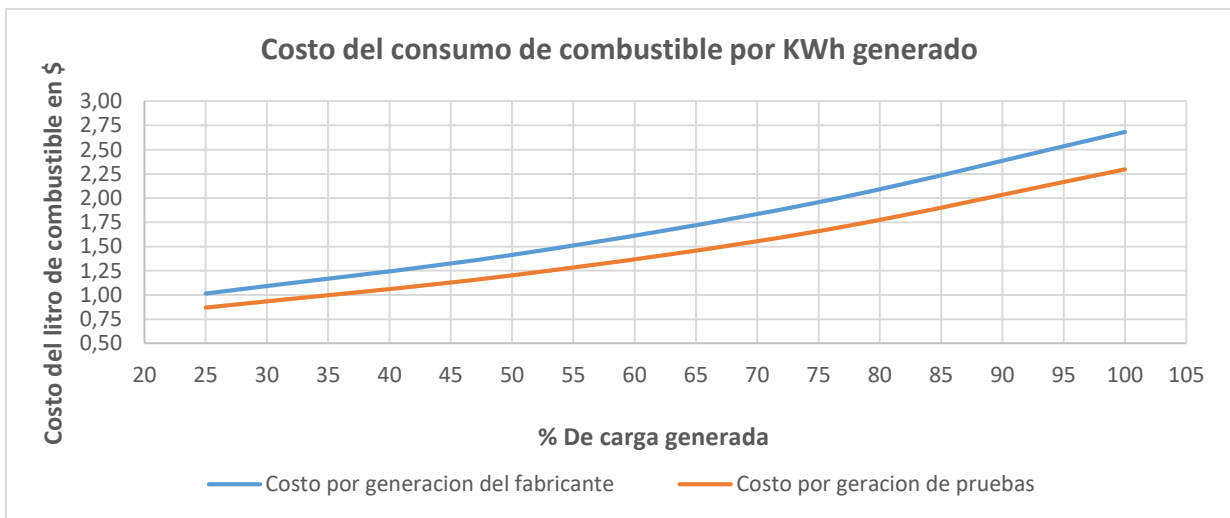
Con el grupo electrógeno trabajando de forma normalizada se determina los valores de consumo de combustible de acuerdo a la generación, es decir que, el consumo de diésel es proporcional a la generación del grupo, de esta forma tenemos la siguiente gráfica.



**Figura 5.30** Relación de consumo.

Mediante la gráfica se puede determinar una reducción en el consumo de combustible de acuerdo a la carga aplicada, es decir que para una generación del 25% de la capacidad del generador el fabricante establece un consumo de 2.8lt de combustible con aceleración convencional y, mediante pruebas de consumo realizadas mediante el uso de volúmenes aplicando la formula (4,6), se determina un consumo de 2.4lt de combustible, es decir una reducción del 14% en el consumo del diésel en cargas bajas. Lo que representa un ahorro significativo a largo plazo.

De la misma manera en una relación de consumo a plena carga está definido por 7.4lt de consumo por hora de generación, mientras que en pruebas se redujo el consumo a 6.34 l es decir el 14.32% menos de consumo evidenciándose un relativo ahorro por tiempo de generación.



**Figura 5.31** Relación costo de consumo

En la figura 5.31 se puede observar el porcentaje de carga generada en relación al costo del diésel por litros, tomando en cuenta que el costo del galón de diésel en Ecuador tiene un costo de \$ 1,37 dólares y el volumen del mismo es de 3.78 l con esta equivalencia, podemos definir que al 25 % de carga generada en fabricante consume \$ 1,01 dólares en cada KWh de generación, a diferencia del costo en las pruebas en las que se consume \$0,87 ctvs. de dólar por cada KWh de generación obteniendo \$0,14 ctvs. de ahorro con la implementación. De igual manera sucede con las demás aplicaciones de carga obteniendo un ahorro en el 100% de carga de \$0,38 ctvs. por cada KWh de generación.

## 6. ANÁLISIS DE IMPACTO

Se analiza cuatro impactos, que son: económico, ambiental, práctico y tecnológico.

### 6.1. Impacto Económico

En la siguiente tabla se puede observar un presupuesto detallado que se ha utilizado en la implementación del presente proyecto, sin descartar el aumento del mismo conforme a las modificaciones e instalaciones que se puedan realizar en un futuro.

**Tabla 6.1** Presupuesto

| <b>Elemento</b>                   | <b>Cantidad</b> | <b>Precio Unitario</b> | <b>Total</b> |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------|--------------|
| Placa                             | 1               | 108.88                 | 108.88       |
| ATMEGA 2560                       | 1               | 17                     | 17           |
| Regulador de voltaje para batería | 1               | 30                     | 30           |
| Motor Paso a paso NEMA17          | 2               | 17                     | 34           |
| Driver A4988                      | 2               | 2.50                   | 5            |
| Relé de encendido                 | 1               | 7                      | 7            |
| HMI Nextion "7"                   | 1               | 100.50                 | 100.50       |
| Switch 6 PIN 2POS C/FOCO ROJO     | 1               | 0.50                   | 0.50         |
| Luz Piloto                        | 4               | 3.15                   | 12.60        |
| Sensor de corriente no invasivo   | 3               | 12                     | 36           |
| Termocupla con acondicionador     | 1               |                        | 50           |
| Gabinete de Control               | 1               | 36                     | 36           |
| Gabinete de Potencia              | 1               | 32                     | 32           |

|                                 |    |        |             |
|---------------------------------|----|--------|-------------|
| Terminales de batería           | 2  | 1.50   | 3           |
| Paro de emergencia tipo hongo   | 1  | 5.50   | 5.50        |
| Convertor DC-DC LM2596          | 1  | 2      | 2           |
| Sensor Inductivo LJ12A3-4-Z /BX | 1  | 12     | 12          |
| Sensor de voltaje AC ZMPT101B   | 4  | 8      | 32          |
| Borneras de 3 pines             | 13 | 1      | 13          |
| Borneras de 2 pines             | 3  | 0.80   | 2.40        |
| Materiales Electrónicos         | 1  | 7      | 7           |
| Barniz Dieléctrico Dolphs ER-41 | 2  | 20     | 40          |
| Diodos Rectificadores           | 6  | 10     | 60          |
| Placa reguladora AVR            | 1  | 260    | 260         |
| Rueda fónica                    | 1  | 160    | 160         |
| Camisa                          | 1  | 100    | 100         |
| Juego de empaques               | 1  | 122.98 | 122.98      |
| Motor de arranque               | 1  | 300.50 | 300.50      |
| Alternador Rectificado          | 1  | 60     | 60          |
| Laboratorio Diesel              | 1  | 90     | 90          |
| Tobera inyector                 | 1  | 200    | 200         |
| Gastos varios                   | 1  | 30     | 30          |
| Mano de obra                    | 1  | 200    | 200         |
|                                 | 2  | 415.07 | 830.14      |
| <b>TOTAL</b>                    |    |        | <b>3000</b> |

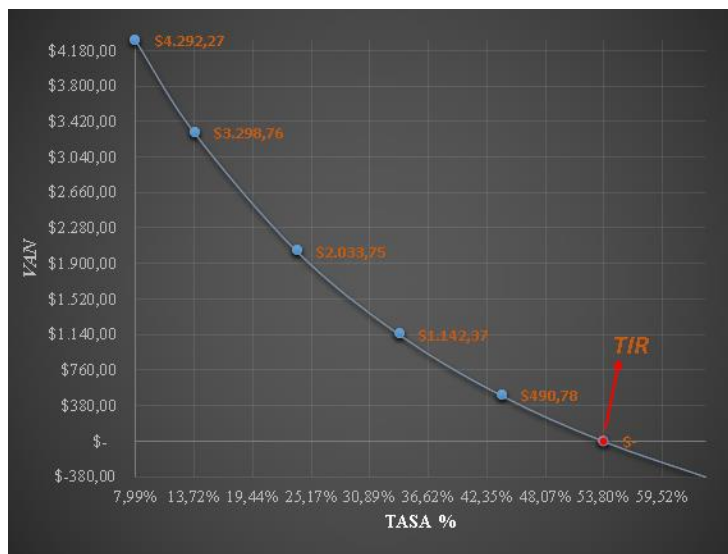
La implementación del presente proyecto tiene un costo de inversión de \$3.000,00 en base a todos los materiales utilizados en el desarrollo del mismo, además contribuye un beneficio sobre todo en los sectores rurales, en los cuales no existe por completo el acceso a la utilización de energía eléctrica; y, por otra parte, es un ahorro positivo en cuanto a la producción y mano de obra que se utiliza en la actualidad dentro de la industria láctea en la cual se va a utilizar.

### 6.1.1. Análisis VAN y TIR

Para la realización del análisis de VAN y TIR, tomamos en consideración que el VAN nos permite evaluar cuan rentable será la implementación de nuestro proyecto, expresándolo en valores monetarios; y, la TIR es la tasa de interés más elevada a la cual se podrá recuperar la inversión

inicial de nuestro proyecto, es decir la tasa más alta que se puede invertir sin tener ninguna pérdida financiera.

Nuestro proyecto arroja los siguientes resultados: VAN=\$4.292,27 y TIR=53,8%, siendo los dos valores positivos y mayores a cero, podemos decir que nuestro proyecto produce ganancias y es rentable su inversión.



**Figura 6.1** Relación VAN – Tasa de descuento y TIR

## 6.2. Impacto ambiental

En este caso de automatización el recurso que se reducirá es el combustible (Diésel), dependiendo de las horas que se utilice el moto-generador además de las cargas que se apliquen para el funcionamiento, de esta manera este equipo nos producirá cierta cantidad de CO2 el cual con la automatización se espera reducir en un 15% de emisiones de dióxido de carbono, también se lograra reducir la contaminación auditiva entre un 10 a 15% para que los animales en este caso hablamos del ganado vacuno ya que estas necesitan estar relajadas sin que nada las estrese para obtener la materia prima.

## 6.3. Impacto Practico

La automatización del motor-generador permitirá el abastecimiento de energía en varios sectores de la empresa de un 30% a un 100% dando la facilidad a la empresa láctea “Lácteos Latacunga” que puede obtener de la materia prima ahorrando un 58.33% de tiempo, así como también permitirá

que la empresa se mantenga con energía en caso de que el sistema eléctrico falle, es decir no permitirá que exista pérdidas económicas ni pérdidas de materia prima en el momento de la elaboración de sus productos.

#### **6.4. Impacto Tecnológico**

Mediante los conocimientos adquiridos en la universidad se puede aplicar lo que es control industrial, maquinas eléctricas, maquinas térmicas, instalaciones eléctricas, así logrando una automatización de primera, logrando aumentar el rendimiento, la eficiencia y potencia del grupo electrógeno en un 97%. La cual permitirá disminuir las pérdidas económicas en un 98%, aumentará la producción de la industria.

### **7. CONCLUSIONES**

- Podemos concluir que en las condiciones que se encontraba el grupo electrógeno no se podía realizar la implementación directa. Según normas que rigen a los generadores la medición de parámetros obtenidos cumplen un rango adecuado para su reutilización sin modificación del elemento. Al motor se cambió partes mecánicas para su funcionamiento.
- Con la reconversión tecnológica se sobrepasan las restricciones de ciertos controles para motores de combustión interna ligados a conjuntos electrógenos, debido a que se facilita la visualización digital de la información del estado de las variantes más representativas, lo anterior posibilita un mantenimiento ideal ya que un mantenimiento realizado regularmente resulta un ahorro primordial de costos, con esto se logra mantener el funcionamiento del motor en óptimas condiciones.
- Con la implementación del tablero de control se podrá tener un dominio total del grupo electrógeno, visualizando parámetros en tiempo real, lo que permitirá evaluar el funcionamiento del equipo.

### **8. RECOMENDACIONES**

- Tener en cuenta el desarrollo de la tecnología ya que existen nuevos productos eléctricos, electrónicos y electromecánicos para la automatización, así como diversos softwares, para el estudio de generadores.

- Conocer el funcionamiento principal de un generador sincrónico es fundamental, como sus parámetros básicos ya que existen diversos temas involucrados con la generación de energía eléctrica mediante generadores.
- Para la realización de pruebas de un generador se debe tener presente las conexiones recomendadas por el fabricante, así como los parámetros del mismo para evitar deterioros e incluso accidentes no deseados.
- Considerar los tiempos de calentamiento del motor diésel al momento de implementar el control de aceleración, para evitar desgastes por fricción debido a la falta de lubricación.

## 9. REFERENCIAS

- [1] J. León, «Energia.jcyl.es,» 2021. [En línea]. Available: <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/recorrido-electricidad-industria.html>. [Último acceso: 23 02 2021].
- [2] M. d. J. G. Cáceres, «ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES ASOCIADOS A LOS PROCESOS,» *Mundo Pecuario*, vol. VIII, nº 1, pp. 2-17, 2012.
- [3] I. W. N. B. Neira, «EVALUACIÓN Y MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA PRODUCCIÓN DE QUESO FRESCO EN LA PLANTA DE CUNGAPITE (CAÑAR),» UNIVERSIDAD ESTATAL DE CUENCA, Cuenca, 2017.
- [4] Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL), «Prevención de la contaminación en la industria láctea,» CAR/PL, Barcelona/España, 2002.
- [5] R. D. M. C. Á. C. Marielys Francisco, «Grupos electrógenos y calidad de energía,» *Ingeniería Energética*, vol. XXVII, nº 2, pp. 35-44, 2007.
- [6] F. O. C. GUERRERO, «GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA USANDO BIODIESEL DE ACEITE DE PIÑÓN (Jatropha curcas),» UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, LIMA, 2015.
- [7] P. F. P. P. J. M. Desantes, Motores de combustion interna alternativos, Barcelona: Universitat Politècnica de València, 2011, p. 131.
- [8] CONFORZA (HONDA), «CONFORZA,» HONDA, 14 08 2019. [En línea]. Available: <https://comforza.com.pa/motores-estacionarios/>. [Último acceso: 02 02 2021].
- [9] A. R. d. A.-M. M. Dominguez, Motores de combustion interna, Primera ed., vol. I, E. UNED, Ed., Madrid, Madrid: UNED, 2015, p. 511.
- [10] J. A. Á. Flórez, Motores alternativos de combustión interna, UPC 2005 ed., vol. primer, 2. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica, Ed., 2005, p. 512.

- [11] G. E. Harper, El Libro Practico De Los Generadores, Transformadores Y Motores Electricos, Primera ed., Editorial Limusa, Ed., Mexico: Limusa, 2005, p. 253.
- [12] S. J. Chapman, MÁQUINAS ELÉCTRICAS, QUINTA ed., MEXICO: MCGRAW-HILL, 2012, p. 521.
- [13] J. S. Chamba, «Monografias.com,» 15 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos89/tipos-generadores-sincronos/tipos-generadores-sincronos.shtml>. [Último acceso: 08 Febrero 2021].
- [14] F. Vargas-Machuca Saldarriaga, Máquinas eléctricas rotativas, cuarta ed., Peru: Magaprlnt EdiclOMS s.a., 1990, p. 275.
- [15] P. C. L. Marín, «Monografias.com,» Universidad Politécnica Salesiana, 23 Noviembre 2010. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos82/generadoressincronos/generadoressincronos2.shtml>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [16] A. D. LEDESMA B., «Diseño y construcción de una Excitatriz Estática para un generador de 5 MVA,» ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, QUITO, 1990.
- [17] G. R. C. ANTONIO, «“DIAGNOSTICO Y MANTENIMIENTO INTEGRAL DEL GENERADOR,» UNIVERSIDAD CATÓLICA, GUAYAQUIL, 2017.
- [18] BlogSEAS, «BlogSEAS,» Campus SEAS, 21 02 2017. [En línea]. Available: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/que-es-la-automatizacion/>. [Último acceso: 23 01 2021].
- [19] A. M. FLORES, «SISTEMA DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA Y,» UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS, LA PAZ, 2018.
- [20] Universidad de Cantabria , «Efecto Hall en metales.,» Universidad de Cantabria , Cantabria, 2009.
- [21] H. R. D. R.-. V. J. D. Israel, «ELABORACIÓN DE GUÍAS DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA EL ANÁLISIS DE LOS MOTORES CRDi DE LA CAMIONETA VOLKSWAGEN AMAROK Y MAZDA BT-50.,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra, 2015.
- [22] J. P. H. L. R. I. B. Juan E. Guarella, «Sensores y actuadores en motores,» Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, 2011.
- [23] S. Jennings, «MOTORES PASO A PASO,» SENA, vol. II, n° 65, p. 12, 2002.
- [24] Isma, «Como Funciona,» Como funciona , 13 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://comofunciona.co.com/un-contactor/>. [Último acceso: 23 01 2021].
- [25] Nextion, «Nextion,» Nextion, 9 Marzo 2011-2020. [En línea]. Available: <https://nextion.tech/>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].

- [26] Microchip Technology, «Microchip,» Microchip Technology, 3 Septiembre 1998-2021. [En línea]. Available: <https://www.microchip.com/en-us/development-tools-tools-and-software/microchip-studio-for-avr-and-sam-devices#>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [27] Software Arduino, «Arduino,» Arduino, 23 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [28] I. P. E. Society, «IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery,» IEEE-SA, Nueva York, 2000.
- [29] W. N. B. Neira, «Evaluación y mejora de la eficiencia energética en la producción de queso fresco en la planta de Cungapite(CAÑAR),» Cuenca, 2017.
- [30] UNEP, «Reporte anual,» UNEP, 2000.
- [31] BLOG VENTAGENERADORES, «VENTAGENERADORES.NET,» BLOG VENTAGENERADORES, 11 11 2015. [En línea]. Available: <https://www.ventageneradores.net/blog/como-funciona-un-generator-electrico/>. [Último acceso: 23 01 2021].
- [32] Plantas eléctricas, «LuzPlantas,» LuzPlantas, 12 05 2013. [En línea]. Available: <https://www.luzplantas.com/que-es-un-grupo-electrogeno/>. [Último acceso: 23 01 2021].
- [33] L. M. L. F. E. L. Enrique Mandado, Microcontroladores PIC, MARCOMBO, Ed., Barcelona: MARCOMBO EDICIONES TÉCNICAS 2007, 2007.
- [34] M. E. M. M. v. RICARDO EVERSON MAZARIEGO ELÍAS, «ANÁLISIS DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS CON,» Universidad del Salvador , CIUDAD UNIVERSITARIA, 2017.
- [35] Software Arduino, «Arduino,» Arduino, 23 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software>. [Último acceso: 23 Febrero 2021].
- [36] Microchip Technology, «Microchip,» Microchip Technology, 3 Septiembre 1998-2021. [En línea]. Available: <https://www.microchip.com/en-us/development-tools-tools-and-software/microchip-studio-for-avr-and-sam-devices#>. [Último acceso: 23 febrero 2021].
- [37] Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia (CAR/PL), «Prevención de la contaminación de la industria Láctea,» (CAR/PL), Barcelona, 2002.

## 10. ANEXOS

**Anexo I** Valoración y selección del Microcontrolador utilizado en el proyecto.

| Criterios                       | Microcontrolador1 | %    | Microcontrolador2 | %   |
|---------------------------------|-------------------|------|-------------------|-----|
|                                 | ATMEGA328P        |      | ATMEGA2560        |     |
| <b>Fabricante</b>               | Atmel (Microchip) | 9,0  | Atmel (Microchip) | 9,0 |
| <b>Voltaje de operación</b>     | 1.8 a 5.5 VDC     | 9,0  | 1.8 a 5.5 VDC     | 9,0 |
| <b>Arquitectura de CPU</b>      | 8 bits AVR        | 9,4  | 8 bits AVR        | 9,4 |
| <b>Memoria Flash</b>            | 32KB              | 6,8  | 256KB             | 7,0 |
| <b>Memoria RAM</b>              | 2KB               | 6,5  | 8KB               | 7,0 |
| <b>EEPROM</b>                   | 2KB               | 4,6  | 4KB               | 6,2 |
| <b>Frecuencia de Operación</b>  | 20MHz             | 7,0  | 0 A 16MHz         | 6,5 |
| <b>Pines de IO</b>              | 23                | 5,6  | 86                | 7,5 |
| <b>Canales ADC</b>              | 10                | 4,5  | 16                | 6,2 |
| <b>Interfaces</b>               | UART, TWI, SPI    | 8,5  | 2-WIRE, SPI, UART | 9,0 |
| <b>Temperatura de operación</b> | -40 a 85 °C       | 9,0  | -40 a 85 °C       | 9,0 |
| <b>Canales PWM</b>              | 6                 | 5,8  | 12                | 6,3 |
| <b>Timers</b>                   | 3                 | 5,6  | 6                 | 7,9 |
| <b>TOTAL</b>                    |                   | 91,3 |                   | 100 |

**Figura I.1** Comparación de microcontroladores

**Anexo II** Selección del motor paso a paso nema 17.

| <b>Motor nema 17</b>          |                                      |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Resistencia de la fase</b> | 2,4 ohm                              |
| <b>Fase de inductancia</b>    | 2.8mH                                |
| <b>Par de frenado</b>         | 1,6 N. cm                            |
| <b>Inercia del Rotor</b>      | 34g. cm2                             |
| <b>Número de pistas</b>       | 4                                    |
| <b>Peso del Motor</b>         | 220g                                 |
| <b>Longitud del cuerpo</b>    | 34mm                                 |
| <b>Controlador adaptador</b>  | Controlador paso a paso de dos fases |

**Figura II.2** Características del motor paso a paso

**Anexo III** Selección de la pantalla HMI

| <b>Características Nextion</b> |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Compatible</b>              | Raspberry Pi A +, B +, Pi 2, Pi 3, Arduino |
| <b>Resolución</b>              | 800 x 480                                  |
| <b>RGB</b>                     | 65K  |
| <b>Pantalla</b>                | TFT con panel táctil resistivo             |
| <b>Interfaz serie</b>          | TTL de 4 pines                             |
| <b>Memoria Flash</b>           | 16M  |
| <b>Ranura</b>                  | micro-SD                                   |
| <b>Fuente de voltaje</b>       | 5 V, 2 A                                   |

**Figura III.3** Características de la pantalla HMI

**Anexo IV** Selección de la termocupla para la medición de las temperaturas de los bobinados y del motor.

| <b>Cracterísticas Termocupla</b>       |  |
|--|--|
| <b>Compatible</b>                      | Raspberry Pi A +, B +, Pi 2, Pi 3, Arduino |
| <b>Rango temperatura de termocupla</b> | -200° C a 1300° C                          |
| <b>Resolucion transmisor MAX6675</b>   | 12 bits (0° C a 1023° C)                   |
| <b>Resolucion de temperatura.</b>      | 0.25° C                                    |
| <b>Modo de salida</b>                  | SPI  |
| <b>Fuente de voltaje</b>               | 5 V, 50 mA                                 |

**Figura IV.4** Características de la termocupla

**Anexo V** Selección del sensor inductivo

| <b>Sensor inductivo LJ12A3-4-Z/BX</b> |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Compatible</b>                     | Raspberry Pi A +, B +, Pi 2, Pi 3, Arduino |
| <b>Frecuencia de respuesta</b>        | 100 Hz                                     |
| <b>Rango de detección</b>             | 4 mm +/- 10%                               |
| <b>Tipo de salida</b>                 | NPN  |
| <b>Conexión por cables</b>            | (VCC, GND, Salida)                         |
| <b>Fuente de voltaje</b>              | 6 V – 36 V DC, 300 mA                      |

**Figura V.5** Selección del sensor de posición

**Anexo VI** Tabla de voltajes para realizar pruebas de bobinados del generador.

**Table 1—Guidelines for dc voltages to be applied during insulation resistance test**

| <b>Winding rated voltage (V)<sup>a</sup></b> | <b>Insulation resistance test direct voltage (V)</b> |
|--|--|
| <1000  | 500  |
| 1000–2500                                    | 500–1000   |
| 2501–5000                                    | 1000–2500  |
| 5001–12 000                                  | 2500–5000  |
| >12 000                                      | 5000–10 000  |

<sup>a</sup>Rated line-to-line voltage for three-phase ac machines, line-to-ground voltage for single-phase machines, and rated direct voltage for dc machines or field windings.

**Figura VI.6** Voltajes aplicados

**Fuente [27]**

**Anexo VII** Tabla de valores recomendados para los bobinados del generador.

**Table 3—Recommended minimum insulation resistance values at 40 °C (all values in MΩ)**

| <b>Minimum insulation resistance</b> | <b>Test specimen</b>   |
|--------------------------------------|--|
| $IR_{1 \min} = kV + 1$               | For most windings made before about 1970, all field windings, and others not described below |
| $IR_{1 \min} = 100$                  | For most dc armature and ac windings built after about 1970 (form-wound coils)               |
| $IR_{1 \min} = 5$                    | For most machines with random-wound stator coils and form-wound coils rated below 1 kV       |

**NOTES**

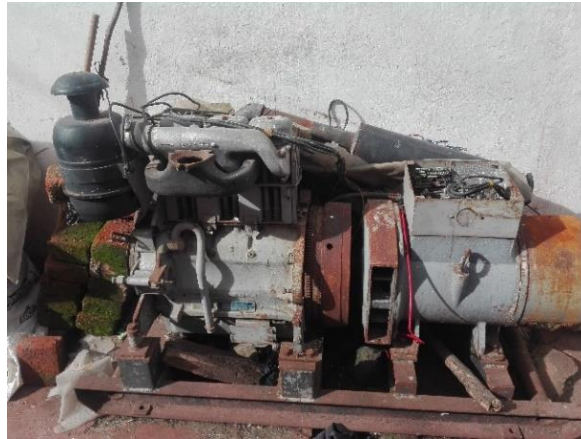
1— $IR_{1 \min}$  is the recommended minimum insulation resistance, in megohms, at 40 °C of the entire machine winding

2— $kV$  is the rated machine terminal to terminal voltage, in rms kV

**Figura VII.7** Resistencia establecida para los bobinados

**Fuente [27]**

## Anexo VIII Condiciones iniciales del grupo electrógeno



**Figura VIII.8** Motor a la intemperie

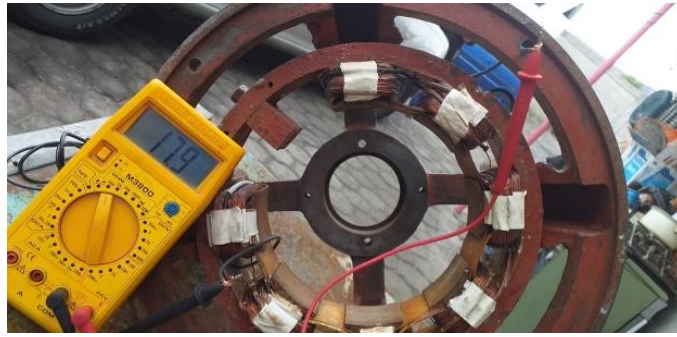


**Figura VIII.2** Desarmado parcial

## Anexo IX Medición de Bobinados.



**Figura IX.9** Medición de las aislamiento de los bobinados



**Figura IX.2** Aislamiento de la excitatriz



**Figura IX.3** Aislamiento de la carcasa del generador

## **Anexo X** Barnizado y armado del generador



**Figura X.10** Barnizado de los elementos del generador



**Figura X.2** Armado del generador

## **Anexo XI Armado del motor**



**Figura XI.11 Motor armado**



**Figura XI.2 Montaje del motor**

## **Anexo XII Grupo generador**



**Figura XII.12 Generador DEUTZ F3L912**

## Anexo XIII Ficha técnica del motor

60 Hz / 1800 min<sup>-1</sup>

| Fuel Consumption (PRP) <sup>5)</sup> |                         | F3L 912    | F4L 912    | F6L 912    |
|--------------------------------------|-------------------------|------------|------------|------------|
| Fuel consumption 25% load            | g/kWh   lb/hph          | 370   0.61 | 370   0.61 | 370   0.61 |
| Fuel consumption 50% load            | g/kWh   lb/hph          | 242   0.40 | 244   0.40 | 242   0.40 |
| Fuel consumption 75% load            | g/kWh   lb/hph          | 223   0.37 | 223   0.37 | 223   0.37 |
| Fuel consumption 100% load           | g/kWh   lb/hph          | 219   0.36 | 219   0.36 | 219   0.36 |
| Inlet & exhaust data                 |                         | F3L 912    | F4L 912    | F6L 912    |
| max. intake depression               | mbar   psi              | 10   0.15  | 10   0.15  | 10   0.15  |
| Combustion air volume                | m <sup>3</sup> /h   cfm | 157   92   | 209   123  | 315   185  |
| max. exhaust gas temperature         | °C   °F                 | 500   932  | 500   932  | 500   932  |
| Exhaust gas flow                     | m <sup>3</sup> /h   cfm | 426   251  | 572   337  | 853   502  |

60 Hz / 1800 min<sup>-1</sup>

| Power                                      |         | F3L 912     | F4L 912     | F6L 912     |
|--|---------|-------------|-------------|-------------|
| Continuous Power (COP) <sup>2)</sup>       | kW   hp | 31.0   41.6 | 42.0   56.3 | 63.0   84.5 |
| Prime Power (PRP) <sup>3)</sup>            | kW   hp | 32.0   42.9 | 43.5   58.3 | 65.5   87.8 |
| Limited Time Power (LTP) <sup>4)</sup>     | kW   hp | 33.0   44.3 | 44.5   59.7 | 67.0   89.8 |
| Fan power consumption                      | kW   hp | 1.0   1.3   | 1.0   1.3   | 1.5   2.0   |
| Typical Generator Output COP <sup>5)</sup> | kWe     | 27          | 37          | 55          |
| Typical Generator Output PRP <sup>5)</sup> | kWe     | 28          | 38          | 58          |
| Typical Generator Output LTP <sup>5)</sup> | kWe     | 28          | 39          | 59          |

The engine company.

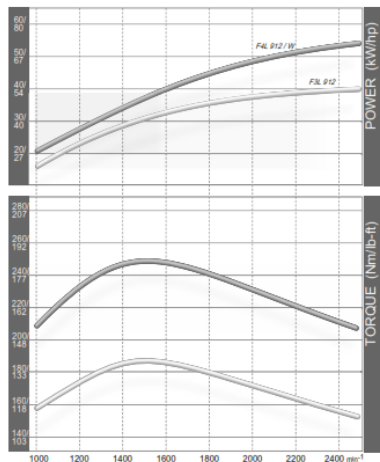


Figura XIII.13 Datos técnicos del motor

Fuente [28]

## Anexo XIV Curvas características del motor

Torque curve  
F3L912 / F4L912/W



F5L912/W / F6L912/W

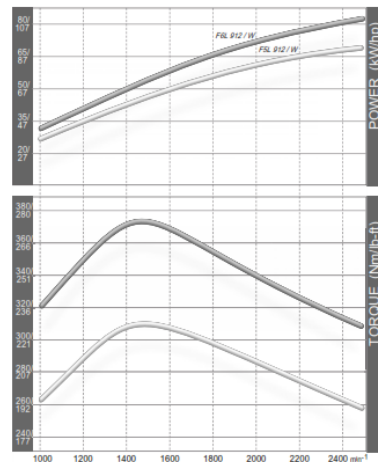


Figura XIV.14 Curvas de torque y potencia

Fuente [28]

## Anexo XV Código de programación

```
#ifndef F_CPU
#define F_CPU 16000000
#endif
#include <avr/interrupt.h> //Incluir libreria para interrupciones
#include <TimerOne.h> //Incluir libreria TIMER1
#include "EmonLib.h" //Libreria sensor corriente

#include <Thermocouple.h>
#include <MAX6675_Thermocouple.h>
#include <SmoothThermocouple.h>

#define SO1_PIN 7
#define CS1_PIN 8
#define SCK1_PIN 9
#define SO2_PIN 10
#define CS2_PIN 11
#define SCK2_PIN 12
#define SO3_PIN 16
#define CS3_PIN 17
#define SCK3_PIN 6
#define SO4_PIN 7
#define CS4_PIN A5
#define SCK4_PIN 9

#define SMOOTHING_FACTOR 5

Thermocouple* thermocouple1=NULL;
Thermocouple* thermocouple2=NULL;
Thermocouple* thermocouple3=NULL;
Thermocouple* thermocouple4=NULL;

EnergyMonitor emon1, emon2, emon3, emon4, emon5, emon6;

//AVANCE TOTAL 5500 PASOS
//TIEMPO MIN. 500us
//TIEMPO MAX. 10ms

/*Definicion de pines I/O */
const int EnaPinM1=7; //PIN PA7 HAB/DES PAP 1
const int StepPinM1=6; //PIN PJ6 GENERA UN PULSO PARA MOVER UN PASO
const int DirPinM1=5; //PIN PJ5 SELECCION DIRECCION CW O CCW

const int EnaPinM2=4; //PIN PJ4 HAB/DES PAP 2
const int StepPinM2=3; //PIN PJ3 GENERA UN PULSO PARA MOVER UN PASO
```

```

const int DirPinM2=2;          //PIN PJ2 DEFINIR DIRECCION CW O CCW

const int EnaPinM3=1;        //PIN PJ1 HAB/DES PAP 1
const int StepPinM3=0;       //PIN PJ0 GENERA UN PULSO PARA MOVER UN PASO
const int DirPinM3=7;        //PIN PC7 SELECCION DIRECCION CW O CCW

const int PinRele=1;         //PIN PJ7 CONTROL RELE
const int PinPiloto=7;       //PIN PE7 CONTROL LUZ PILOTO

uint8_t no=1;                //AUXILIAR BLOQUEOS
uint8_t block=0;             //AUXILIAR BLOQUEO LECTURA SENSORES

const int pasos=200;         //PASOS POR REVOLUCION
uint8_t step_delay_ms=5;     //RETARDO ENTRE ACTIVACION DE BOBINAS MOTOR
PAP
uint16_t ac, retardo=500;    //ACCION DE CONTROL

/*VARIABLES MAGNITUDES ELECTRICAS Y FISICAS*/
double I1=0.0, I2=0.0, I3=0.0, V1=0.0, V2=0.0, V3=0.0, V4=0.0, TC1=0.0, TC2=0.0, TC3=0.0,
TC4=0.0;
double T1, T2, T3, T4;
float TC5=0.0;

/*VARIABLES CONTROL NEXTION*/
int aux=0, ls=0, emergencia=0;

/*VARIABLES CONTROL RPM*/
volatile int n=0;            //CONTADOR DE FLANCOS
double N=0.0, P=0.0;        //VARIABLE CALCULO RPM Y GRADOS DESPLAZ.
uint16_t rpms=0, rpmsf=0;   //VARIABLE PARA ENVIAR A HMI
int error=0;                //ERROR

uint16_t esc1, esc2, escalar=50;
uint32_t desplazamiento=0;
uint16_t referencia=1810;
uint8_t bloqueo=1;

/*VARIABLES TEMPERATURAS*/
float Temp=0;
float Sensor;
double c_filtro;

/*VARIABLES CORRIENTES*/
double Irms1;
double Irms2;

```

```

/*VARIABLES VOLTAJES*/
double Vrms1, Vrms2, Vrms3;
double V1esc, V2esc, V3esc, V4esc;

/*VARIABLES PID*/
uint16_t _referencia;
uint16_t _retroalimentacion;
uint16_t e[3]={0, 0, 0};
uint16_t u[2]={0, 0};
float kp=0.90311;
float ki=0.35560;
float kd=0.57328;
float T=0.005;
float K1, K2, K3;

int cont=0, contador;
int uu=0, v=0, w=2;

void d_int_t2() {
  noInterrupts();
  TCCR2A=0;
  TCCR2B=0;
  TCNT2=0;
  OCR2A=77; //200.32051282051282 Hz (5ms) (16000000/((77+1)*1024))
  TCCR2A|=(1<<WGM21); //CTC
  TCCR2B|=(1<<CS22)|(1<<CS21)|(1<<CS20); //Prescaler 1024
  TIMSK2|=(1<<OCIE2A); //Output Compare Match A Interrupt Enable
  interrupts();
}

void d_int_t3()
{
  noInterrupts();
  TCCR3A=0;
  TCCR3B=0;
  TCNT3=0;
  // OCR3A = 62499; //0.25 Hz (4s) (16000000/((31249+1)*1024))
  OCR3A=15624; //1 Hz (1s) (16000000/((31249+1)*1024))
  TCCR3B|=(1<<WGM32); //CTC
  TCCR3B|=(1<<CS32)|(1<<CS30); //Prescaler 1024
  TIMSK3|=(1<<OCIE3A); //Output Compare Match A Interrupt Enable
  interrupts();
}

void setupTimer4()
{

```

```

noInterrupts();
TCCR4A=0;
TCCR4B=0;
TCNT4=0;
OCR4A=31249;          //(0.5s) (16000000/((31249+1)*1024))
TCCR4B|=(1<<WGM42);  //CTC
TCCR4B|=(1<<CS42);   //Prescaler 256
TIMSK4|=(1<<OCIE4A); //Output Compare Match A Interrupt Enable
interrupts();
}

void setup() {
  Serial.begin(9600);          //Velocidad en baudios comunicacion pantalla nextion
  Timer1.initialize(250000);  //Tiempo interrupcion Timer1 250ms captura RPMS
  Timer1.attachInterrupt(timerIsr); //Habilitar Int. desborde Timer1 al evento timerIsr
  pinMode(2, INPUT_PULLUP);   //Definir y habilitar pin D2 con PullUp interna
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), inductivo, FALLING);
  pinMode(3, INPUT_PULLUP);   //Definir y habilitar pin D2 con PullUp interna

  //CALCULOS COEFICIENTES
  K1=kp+ki*T+kd/T;
  K2=-2.0*kd/T-kp;
  K3=kd/T;

  /*CONTROL RELE MOTOR ENC.*/
  DDRA|=(1<<PinRele);        //DEFINIR PIN RELE COMO SALIDA
  PORTA&=~(1<<PinRele);     //APAGAR PIN RELE AL ARRANCAR

  /*CONTROL CARGA*/
  DDRE|=(1<<PinPiloto);      //DEFINIR PIN PILOTO COMO SALIDA
  PORTE|=(1<<PinPiloto);    //APAGAR PIN PILOTO AL ARRANCAR LOGICA
  NEGATIVA

  /*MOTOR PAP 1*/
  DDRA|=(1<<EnaPinM1);       //SALIDAS PINES CONTROL M1
  DDRJ|=(1<<DirPinM1);       //...
  DDRJ|=(1<<StepPinM1);      //...
  PORTA|=(1<<EnaPinM1);      //DESHAB. DRIVER PAP 1
  PORTJ&=~(1<<DirPinM1);     //HAB. SENTIDO HORARIO
  PORTJ&=~(1<<StepPinM1);    //PIN PULSOS PASOS EN BAJO
  /*MOTOR PAP 2*/
  DDRJ|=(1<<EnaPinM2);       //...
  DDRJ|=(1<<DirPinM2);       //...
  DDRJ|=(1<<StepPinM2);      //...
  PORTJ|=(1<<EnaPinM2);      //DESHAB. DRIVER PAP 2
  PORTJ&=~(1<<DirPinM2);     //HAB. SENTIDO HORARIO

```

```

PORTJ&=~(1<<StepPinM2);    //PIN PULSOS PASOS EN BAJO
/*MOTOR PAP 3*/
DDRJ|=(1<<EnaPinM3);      //...
DDRJ|=(1<<DirPinM3);      //...
DDRC|=(1<<StepPinM3);     //...
PORTJ|=(1<<EnaPinM3);     //DESHAB. DRIVER PAP 2
PORTJ&=~(1<<DirPinM3);    //HAB. SENTIDO HORARIO
PORTC&=~(1<<StepPinM3);   //PIN PULSOS PASOS EN BAJO

//VOLTIMETROS Y AMPERIMETROS
emon1.current(6, 111.1);   //Corriente Pin, Calibracion
emon2.current(7, 111.1);   //Corriente Pin, Calibracion
emon4.voltage(0, 234.26, 1.7); //Voltage Pin, Calibracion, phase_shift
emon5.voltage(1, 234.26, 1.7); //Voltage Pin, Calibracion, phase_shift
emon6.voltage(2, 234.26, 1.7); //Voltage Pin, Calibracion, phase_shift

Thermocouple* originThermocouple1 = new MAX6675_Thermocouple(SCK1_PIN, CS1_PIN,
SO1_PIN);
thermocouple1 = new SmoothThermocouple(originThermocouple1, SMOOTHING_FACTOR);
_delay_ms(250);
Thermocouple* originThermocouple2 = new MAX6675_Thermocouple(SCK2_PIN, CS2_PIN,
SO2_PIN);
thermocouple2 = new SmoothThermocouple(originThermocouple2, SMOOTHING_FACTOR);
_delay_ms(250);
Thermocouple* originThermocouple3 = new MAX6675_Thermocouple(SCK3_PIN, CS3_PIN,
SO3_PIN);
thermocouple3 = new SmoothThermocouple(originThermocouple3, SMOOTHING_FACTOR);
_delay_ms(250);
Thermocouple* originThermocouple4 = new MAX6675_Thermocouple(SCK4_PIN, CS4_PIN,
SO4_PIN);
thermocouple4 = new SmoothThermocouple(originThermocouple4, SMOOTHING_FACTOR);

d_int_t2();
_delay_ms(100);
d_int_t3();
_delay_ms(100);
setupTimer4();
_delay_ms(100);
}

void loop()
{
if (bloqueo==0)
{
if (rpms>=0 && rpms<1750) w=1;
else if (rpms>=1750 && rpms<1850) w=10;
}
}

```

```

else if (rpms>=1850 && rpms<2500) w=1;

if (N<(referencia))
{
    acelerar();
}
else if (N>(referencia+10))
{
    desacelerar();
}
}

if (digitalRead(3)==HIGH)    //PARO PRESIONADO
{
    emergencia=1;
    aux=2;
}
else    //PARO LIBERADO
{
    emergencia=0;
}

if (N>=1800)
{
    PORTE&=~(1<<PinPiloto);    //ENCENDER PIN PILOTO AL ARRANCAR
}

if (aux==1 && no==1 && emergencia==0)    //ENCENDER
{
    no=0;
    aux=0;
    encender();
}

else if (aux==2 && no==0    )    //APAGAR
{
    no=1;
    aux=0;
    ahogado();
}
sensores();
}

ISR(TIMER2_COMPA_vect)
{
    _referencia=1810;
}

```

```

_retroalimentacion=rpms;
e[0]=_referencia-_retroalimentacion;
u[0]=K1*e[0]+K2*e[1]+K3*e[2]+u[1];
if (u[0]>1000) u[0]=1000;
if (u[0]<0) u[0]=0;
v=map(u[0],0,1000,10,2);

e[2]=e[1];
e[1]=e[0];
u[1]=u[0];
}

ISR(TIMER3_COMPA_vect)
{
  impresion();
}

ISR(TIMER4_COMPA_vect)
{
  cont++;
  if (cont>3) cont=0;
  contador=cont;
}

/*INT. RECEPCION SERIE NEXTION*/
void serialEvent()
{
  while (Serial.available())
  {
    char dato=(char)Serial.read();
    if (dato=='1') {aux=1;} //ENCENDER MOTOGENERADOR
    else if (dato=='0') {aux=2;} //SENAL SECUENCIA AHOGADO - APAGADO
  }
}

/*FUNCION PARA LLAMAR A LA FUNCION CALCULO RPM*/
void timerIsr()
{
  computeRpm();
}

/*FUNCION CALCULAR RPM*/
void computeRpm(void)
{
  N=(n*60.0*1000)/(8*250); //Calculamos las revoluciones por minuto
  rpms=N; //Asignamos el valor de RPM a variable envio
}

```

```

// recorrido=(desplazamiento*360)/3350; //Calculo desplazamiento en grados
n=0; //Resetear los pulsos proxima captura
}

/*FUNCION CAPTURA DATOS SENSORES*/
void sensores(void)
{
  Irms1=emon1.calcIrms(1480); //Calculamos la Irms
  Irms2=emon2.calcIrms(1480); //Calculamos la Irms
  esc1=Irms1-3.05;
  esc2=Irms2-3.05;
  I1=0.6203*esc1+1.1263;
  I2=0.6203*esc2+1.1263;
  I3=0.0;
  if (esc1<=1.0) I1=0.0;
  if (esc2<=1.0) I2=0.0;
// I1=10.4;
//TEMPERRATURAS
if (contador==1)
{
  T1=thermocouple1->readCelsius();
  T2=thermocouple2->readCelsius();
  T3=thermocouple3->readCelsius();
  int n=30;
  for (uint8_t i=0; i<n; i++)
  {
    Sensor=analogRead(A4); // leemos el sensor
    Temp=(float)Temp+Sensor*500/1023;
  }
  Temp=(Temp/n)-5;
  c_filtro=0.5*Temp+(1.0-0.5)*c_filtro;
  T4=thermocouple4->readCelsius();
  if (T1>10.0) TC1=T1;
  if (T2>10.0) TC2=T2;
  if (T3>10.0) TC3=T3;
  if (T4>10.0) TC4=T4;
  TC1=T1;
  TC2=T2;
  TC3=T3;
  TC4=T4;
  TC5=c_filtro;
}
//CORRIENTES
else if (contador==2)
{
/* Irms1=emon1.calcIrms(1480); //Calculamos la Irms

```

```

    Irms2=emon2.calcIrms(1480);           //Calculamos la Irms
    esc1=Irms1-3.05;
    esc2=Irms2-3.05;
    I1=0.6203*esc1+1.1263;
    I2=0.6203*esc2+1.1263;
    I3=0.0;
    if (esc1<=1.0) I1=0.0;
    if (esc2<=1.0) I2=0.0;*/
}
//VOLTAJES
else if (contador==3)
{
    emon4.calcVI(20,2000);               //Calculate all. No.of half wavelengths (crossings),
time-out
    emon5.calcVI(20,2000);               //Calculate all. No.of half wavelengths (crossings),
time-out
    emon6.calcVI(20,2000);               //Calculate all. No.of half wavelengths (crossings),
time-out
    Vrms1=emon4.Vrms;                     //extract Vrms into Variable
    Vrms2=emon5.Vrms;                     //extract Vrms into Variable
    Vrms3=emon6.Vrms;                     //extract Vrms into Variable
    V1esc=0.8868*Vrms1+34.482;
    V2esc=0.8769*Vrms2+33.315-5;
    V3esc=0.8355*Vrms3+20.785;
    V4esc=(V1esc+V2esc)/2.0;
    V1=V1esc;
    V2=V2esc;
    V3=V3esc;
    V4=V4esc;
    if (V1esc<=46) V1=0.0;
    if (V2esc<=46) V2=0.0;
    if (V3esc<=46) V3=0.0;
    if (V4esc<=46) V4=0.0;
}
}

/*FUNCION CAPTURA DE PULSOS SENSOR INDUCTIVO*/
void inductivo(void)
{
    n++;
}

/*FUNCION CAPTURA DE PULSOS SENSOR INDUCTIVO*/
void paro(void)
{
    aux=2;
}

```

```

}

/*FUNCION SEC. ENCENDIDO*/
void encender(void)
{
  aux=0;
  PORTA|=(1<<PinRele);          //APAGAR PIN RELE AL ARRANCAR
  for (uint8_t en=0; en<3; en++) //DEFINIR 3S. DE RETENCION PARA EL ENCENDIDO
  {
    _delay_ms(500);
    impresion();
  }
  PORTA&=~(1<<PinRele);

  if (rpms<100)
  {
    bloqueo=1;
    no=1;
    aux=0;
    impresion();
  }
  else
  {
    bloqueo=0;
    for (uint8_t en=0; en<20; en++) //ESPERA 2 MIN A QUE DESARROLLE EL MOTOR
    {
      _delay_ms(500);
      sensores();
      impresion();
    }
  }
}

void impresion(void)
{
  Serial.print("page0.n0.val="); Serial.print(rpms); Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
  Serial.write(0xff);
  Serial.print("page0.t0.txt="); Serial.print(TC5,2); Serial.print(""); Serial.write(0xff);
  Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
  if (block==0)
  {
    Serial.print("page1.t4.txt="); Serial.print(I1,2); Serial.print(""); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
    Serial.print("page1.t5.txt="); Serial.print(I2,2); Serial.print(""); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
  }
}

```

```

    Serial.print("page1.t6.txt=\"); Serial.print(I3,2); Serial.print("\"); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
    Serial.print("page1.t7.txt=\"); Serial.print(V1,2); Serial.print("\"); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
    Serial.print("page1.t8.txt=\"); Serial.print(V2,2); Serial.print("\"); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
    Serial.print("page1.t9.txt=\"); Serial.print(V4,2); Serial.print("\"); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
    Serial.print("page1.t10.txt=\"); Serial.print(V3,2); Serial.print("\"); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);

    Serial.print("page1.t11.txt=\"); Serial.print(TC1,2); Serial.print("\"); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
    Serial.print("page1.t12.txt=\"); Serial.print(TC2,2); Serial.print("\"); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
    Serial.print("page1.t13.txt=\"); Serial.print(TC3,2); Serial.print("\"); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
    Serial.print("page1.t14.txt=\"); Serial.print(TC4,2); Serial.print("\"); Serial.write(0xff);
    Serial.write(0xff); Serial.write(0xff);
}
}

void apagar1(void)
{
    for (uint16_t d=0; d<400; d++) //
    {
        PORTJ|=(1<<StepPinM1); //PIN D5 EN ACTIVADO
        _delay_ms(1);
        PORTJ&=~(1<<StepPinM1); //PIN D5 EN DESACTIVADO
        _delay_ms(1);
    }
    impresion();
}

void acelerar(void)
{
    PORTA&=~(1<<EnaPinM1); //HAB. PAP 1
    PORTJ&=~(1<<DirPinM1); //HAB. SENTIDO HORARIO
    for (uint16_t a=0; a<(1*escalar); a++) //Antes 200 mas rapido
    {
        PORTJ|=(1<<StepPinM1); //PIN D5 EN ACTIVADO
        for (int z=0;z<w;z++) _delay_us(500); //3ms
    // _delay_ms(5);
        PORTJ&=~(1<<StepPinM1); //PIN D5 EN DESACTIVADO
    // _delay_ms(5);
        for (int z=0;z<w;z++) _delay_us(500); //3ms
    }
}

```

```

}
// PORTA|=(1<<EnaPinM1);    //DESHAB. PAP 1
}

void desacelerar(void)
{
PORTA&=~(1<<EnaPinM1);    //HAB. PAP 1
PORTJ|=(1<<DirPinM1);    //HAB. SENTIDO ANTIHORARIO
for (uint16_t d=0; d<(1*escalar); d++) //Antes 200 mas rapido hasyta 10m hoy sabado
{
PORTJ|=(1<<StepPinM1);    //PIN D5 EN ACTIVADO
for (int z=0;z<w;z++) _delay_us(500);    //3ms
// _delay_ms(5);
PORTJ&=~(1<<StepPinM1);    //PIN D5 EN DESACTIVADO
for (int z=0;z<w;z++) _delay_us(500);    //3ms
// _delay_ms(5);
}
// PORTA|=(1<<EnaPinM1);    //DESHAB. PAP 1
}

void ahogado(void)
{
block=1;
I1=0;
I2=0;
I3=0;
aux=0;
bloqueo=1;
PORTA&=~(1<<EnaPinM1);    //HAB. PAP 1
PORTJ|=(1<<DirPinM1);    //HAB. SENTIDO ANTIHORARIO
while(N>750)
{
if (N<1800) PORTE|=(1<<PinPiloto);    //APAGAR PIN PILOTO LOGICA
NEGATIVA
apagar1();
}
PORTA|=(1<<EnaPinM1);    //DESHAB. PAP 1
_delay_ms(2000);

PORTJ&=~(1<<EnaPinM2);    //HAB. PAP 2
PORTJ|=(1<<DirPinM2);    //PIN D5 EN ACTIVADO
_delay_ms(5);
for (uint16_t u=0; u<375; u++)    //400
{
PORTJ|=(1<<StepPinM2);    //PIN D5 EN ACTIVADO
_delay_ms(3);    //23_02_2021 ->5
}
}

```

```

PORTJ&=~(1<<StepPinM2);    //PIN D5 EN DESACTIVADO
_delay_ms(3);                //23_02_2021 ->5
impresion();
}

for (uint8_t xx=0; xx<12; xx++) //TIEMPO ESPERA DE 6S PARA AHOGAR EL MOTOR
{
    _delay_ms(500);
    impresion();
}

PORTJ&=~(1<<DirPinM2);      //PIN D5 EN ACTIVADO
_delay_ms(5);
for (uint16_t u=0; u<375; u++)
{
    PORTJ|=(1<<StepPinM2);    //PIN D5 EN ACTIVADO
    _delay_ms(10);           //10
    PORTJ&=~(1<<StepPinM2);    //PIN D5 EN DESACTIVADO
    _delay_ms(10);           //10
}
_delay_ms(100);              //RETARDO ANTES DE DESHABILITAR EL PAP2
PORTJ|=(1<<EnaPinM2);        //DESHAB. PAP 2
block=0;
}

```