



Repotenciación, Calibración, Mantenimiento e Implementación de un Sistema de Adquisición de datos para la puesta a punto de la Bomba Termoeléctrica perteneciente al Laboratorio de Conversión de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

López Lara, José Gabriel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Msc. Gutiérrez Gualotuña, Roberto Eduardo

22 de febrero de 2023

Tesis de Grado Jose Gabriel Lopez Lara

2% Similitudes

< 1% Texto entre comillas
0% similitudes entre comillas

< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Tesis de Grado Jose Gabriel Lopez Lara.pdf
 ID del documento: b6a61cb4e8cee99ef3ed960dd5b4d390e3213814
 Tamaño del documento original: 2,43 Mo

Depositante: DAVID CESAR LOZA MATOVELLE
 Fecha de depósito: 28/2/2023
 Tipo de carga: interface
 fecha de fin de análisis: 28/2/2023

Número de palabras: 14.595
 Número de caracteres: 90.683

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

| Nº | Descripciones | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales |
|----|--|-------------|---|---|
| 1 |  repositorio.espe.edu.ec Diseño e instalación de los sistemas de alimentación de: C... https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9794 ; -text-Se instaló a demás una bomba de rec... 2 fuentes similares | 1% |  | Palabras idénticas : 1% (188 palabras) |
| 2 |  www.eea.europa.eu La energía y el cambio climático — Agencia Europea de Medio... https://www.eea.europa.eu/es/temas/temas-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-y-eL | < 1% |  | Palabras idénticas : < 1% (51 palabras) |
| 3 |  Documento de otro usuario #772:00 El documento proviene de otro grupo 3 fuentes similares | < 1% |  | Palabras idénticas : < 1% (34 palabras) |
| 4 |  hdl.handle.net Análisis de aprovechamiento de calores residuales de los gases de ... http://hdl.handle.net/2039.1/23357 | < 1% |  | Palabras idénticas : < 1% (33 palabras) |
| 5 |  idoc.pub Refrigeradores Y Bombas De Calor [d4pq0q1v2rnp] https://doi.org/10.1016/j.scires.2017.05.001 5 fuentes similares | < 1% |  | Palabras idénticas : < 1% (31 palabras) |

Fuentes con similitudes fortuitas

| Nº | Descripciones | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales |
|----|---|-------------|--|---|
| 1 |  www.laestrella.com.pa Emergencia climática y crisis energética: el debate 2022 https://www.laestrella.com.pa/ cafe-estrella/planeta/220112/emergencia-climatica-crisis-energetica-L... | < 1% |  | Palabras idénticas : < 1% (14 palabras) |
| 2 |  repositorio.espe.edu.ec Sistema de navegación para personas no videntes, median... https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9975 | < 1% |  | Palabras idénticas : < 1% (10 palabras) |

Fuente mencionada (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- 1  <https://www.bigtronica.com/87-voltaje-corriente>

Firma:



El medio electrónico con el que se genera esta firma es:
EDUARDO ROBERTO GUTIERREZ GUALOTUÑA

Msc. Gutiérrez Gualotuña, Roberto Eduardo

C.C.1711011385



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Repotenciación, Calibración, Mantenimiento e Implementación de un Sistema de Adquisición de datos para la puesta a punto de la Bomba Termoeléctrica perteneciente al Laboratorio de Conversión de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE" fue realizado por el señor López Lara, José Gabriel; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 22 de febrero de 2023

Firma:



Firmado digitalmente por:
EDUARDO ROBERTO
GUTIÉRREZ GUALOTUÑA

Msc. Gutiérrez Gualotuña, Roberto Eduardo

C.C.1711011385



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **López Lara, José Gabriel**, con cédula de ciudadanía n° 1720944840, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Repotenciación, Calibración, Mantenimiento e Implementación de un Sistema de Adquisición de datos para la puesta a punto de la Bomba Termoeléctrica perteneciente al Laboratorio de Conversión de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 22 de febrero de 2023

Firma



López Lara, José Gabriel

C.C.1720944840



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Yo **López Lara, José Gabriel**, con cédula de ciudadanía n° 1720944840 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: : **“Repotenciación, Calibración, Mantenimiento e Implementación de un Sistema de Adquisición de datos para la puesta a punto de la Bomba Termoeléctrica perteneciente al Laboratorio de Conversión de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 22 de febrero de 2023

Firma

López Lara, José Gabriel

C.C.1720944840

Dedicatoria

Este trabajo de titulación se lo dedico primero a mis padres, ya que gracias a toda la ayuda que me supieron brindar y por acompañarme durante todo el camino de esta carrera, estoy pudiendo culminar con esta etapa. A mi padre que nunca dudó en brindarme todo su apoyo durante todo este tiempo para cumplir con este objetivo y a mi madre que desde el cielo me ayudó y me guió en este último paso para cumplir con esta meta. Sé que allá arriba estás muy orgullosa.

A mis hermanos Esteban y Luis, ya que ellos han sido mi ejemplo a seguir y al igual que mis padres, por brindarme siempre todo el apoyo necesario para seguir adelante. Han puesto la vara muy alta.

A mis amigos, quienes estuvieron pendientes y presionándome para terminar con este ciclo. Se logró el objetivo.

José Gabriel López Lara

Agradecimiento

Quiero agradecer primero a Dios y a la Virgen quienes me dieron la sabiduría y la paciencia para poder terminar con este ciclo que parecía nunca acabar y poder afrontar todos los obstáculos que se presentaron en el camino.

A mis padres por todo el apoyo y toda ayuda que me supieron brindar durante todo este tiempo, desde el primer día de esta etapa hasta el último. Simplemente un Dios les pague de todo corazón.

A mis hermanos por toda su preocupación y también su apoyo para poder culminar con este objetivo.

A mis amigos, los más tóxicos, que estuvieron pendientes en todo momento y ofreciendo su ayuda para terminar con este proyecto y también gracias por toda la presión que pusieron para alcanzar esta meta. Se logró el objetivo.

A mi cosa, quien estuvo preocupado y pendiente y sobre todo hablándome para terminar pronto con este trabajo. Ahora ya puedo decir "listo el pollo".

Al Ing. Roberto Gutierrez por toda la ayuda brindada durante el desarrollo del trabajo de titulación y al Ing. Roberto Buenaño por el soporte brindado durante la ejecución del proyecto.

A todos los docentes que supieron brindar sus conocimientos durante toda la carrera.

A todos mis compañeros que hicieron más llevaderas las largas noches de estudios.

Un gracias muy profundo y muy sentido a todos ustedes.

Vamos por más!!!

José Gabriel López Lara

Índice de Contenidos

| | |
|---|----|
| Hoja de resultados de la herramienta prevención y/o verificación de similitud de contenidos.... | 2 |
| Certificación del Director | 3 |
| Responsabilidad de Autoría | 4 |
| Autorización de Publicación | 5 |
| Resumen | 18 |
| Abstract..... | 19 |
| Capítulo I: Generalidades | 20 |
| Antecedentes | 20 |
| Planteamiento del Problema..... | 25 |
| Definición del Problema..... | 25 |
| Objetivos | 26 |
| <i>Objetivo General</i> | 26 |
| <i>Objetivos Específicos</i> | 26 |
| Alcance del Proyecto..... | 26 |
| Justificación..... | 27 |
| Capítulo II: Marco Teórico | 29 |
| Bomba de Calor Termoeléctrica | 29 |
| <i>Efecto Peltier</i> | 29 |
| <i>Efecto Lenz</i> | 30 |
| <i>Efecto Seebeck</i> | 31 |
| <i>Efecto Refrigerador</i> | 32 |

| | |
|--|----|
| <i>Efecto Generador</i> | 32 |
| <i>Coeficiente de Rendimiento</i> | 32 |
| Sensores de medición..... | 32 |
| <i>Sensores de temperatura</i> | 32 |
| <i>Sensores de voltaje</i> | 33 |
| <i>Sensores de corriente</i> | 33 |
| Actuadores..... | 34 |
| <i>Relays</i> | 34 |
| <i>Motor a pasos</i> | 35 |
| Tarjeta de Control..... | 36 |
| Interfaz Gráfica HMI..... | 37 |
| Capítulo III: Repotenciación de la Bomba Termoeléctrica..... | 39 |
| Levantamiento técnico del estado actual del equipo..... | 39 |
| Mantenimiento Correctivo..... | 39 |
| Procesos de manufactura de elementos mecánicos..... | 40 |
| Mantenimiento y corrección del sistema eléctrico..... | 40 |
| Pruebas de funcionamiento en vacío..... | 41 |
| <i>Efecto Peltier</i> | 41 |
| <i>Efecto Lenz</i> | 42 |
| <i>Efecto Seebeck</i> | 43 |
| <i>Efecto Generador</i> | 44 |

| | |
|---|----|
| | 10 |
| <i>Coefficiente de Rendimiento</i> | 45 |
| Revisión elementos mecánicos | 46 |
| Revisión elementos eléctricos | 47 |
| Revisión elementos electrónicos. | 48 |
| Capítulo IV: Diseño e Implementación del Sistema de Adquisición de Datos | 49 |
| Selección de la instrumentación | 49 |
| <i>Selección de instrumentos para medición de voltaje</i> | 49 |
| <i>Selección de instrumentos para medición de corriente.</i> | 50 |
| <i>Selección de instrumentos para medición de temperatura</i> | 51 |
| <i>Selección de relays</i> | 52 |
| <i>Selección de motor a pasos</i> | 54 |
| <i>Selección de display LCD.</i> | 55 |
| Diseño del control..... | 56 |
| <i>Selección de la tarjeta de control.</i> | 56 |
| <i>Selección de entradas y salidas de la tarjeta de control</i> | 57 |
| <i>Programación de la tarjeta de control</i> | 60 |
| <i>Control de motores a pasos</i> | 61 |
| <i>Adquisición de datos de los sensores de voltaje, corriente y temperatura</i> | 61 |
| Voltaje | 61 |
| Corriente | 62 |
| Temperatura | 63 |

| | |
|---|----|
| | 11 |
| Diseño de Interfaz Gráfica | 63 |
| <i>Interfaz Efecto Peltier</i> | 63 |
| <i>Interfaz Efecto Lenz</i> | 64 |
| Ensamble del sistema eléctrico, electrónico y control | 69 |
| <i>Rediseño del Panel Frontal</i> | 69 |
| <i>Rediseño del sistema eléctrico</i> | 73 |
| <i>Análisis eléctrico del sistema de adquisición de datos</i> | 76 |
| Arduino Mega 2560 | 76 |
| Sensor de Voltaje FZ0430 | 76 |
| Sensores de Corriente ACS712 | 77 |
| Sensores de Temperatura NTC 10K | 77 |
| Bloque de relés de 8 bobinas | 78 |
| Pantalla LCD 20X4 | 78 |
| Controlador para motor a pasos TB6600 | 79 |
| Dimensionamiento de la fuente de corriente continua | 79 |
| Dimensionamiento del interruptor termomagnético | 80 |
| Construcción del sistema electrónico y de control..... | 81 |
| Conexión sensores de voltaje | 82 |
| Conexión sensores de corriente..... | 83 |
| Conexión tarjeta de adquisición de datos..... | 85 |
| Capítulo V: Intervención, pruebas y resultados | 90 |

| | |
|---|-----|
| | 12 |
| Intervención del Equipo | 90 |
| Tabulación de resultados | 93 |
| <i>Efecto Peltier</i> | 93 |
| <i>Efecto Thomson o Lenz</i> | 94 |
| <i>Efecto Seebeck</i> | 95 |
| <i>Efecto Generador</i> | 96 |
| <i>Coefficiente de Rendimiento</i> | 97 |
| Análisis de resultados y validación | 98 |
| <i>Efecto Peltier</i> | 98 |
| <i>Efecto Lenz</i> | 100 |
| <i>Efecto Seebeck</i> | 102 |
| <i>Efecto Generador</i> | 104 |
| <i>Coefficiente de Rendimiento</i> | 106 |
| Capítulo VI: Análisis Económico | 108 |
| Conclusiones | 110 |
| Recomendaciones | 111 |
| Bibliografía | 112 |
| Apéndices | 115 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 <i>Valores obtenidos de la práctica Efecto Peltier</i> | 41 |
| Tabla 2 <i>Valores obtenidos de la práctica Efecto Lenz</i> | 42 |
| Tabla 3 <i>Valores obtenidos de la práctica Efecto Seebeck</i> | 43 |
| Tabla 4 <i>Valores obtenidos de la práctica Efecto Generador</i> | 44 |
| Tabla 5 <i>Valores obtenidos de la práctica Coeficiente de Rendimiento</i> | 45 |
| Tabla 6 <i>Selección Sensor de voltaje</i> | 50 |
| Tabla 7 <i>Selección Sensor de Corriente</i> | 51 |
| Tabla 8 <i>Selección sensor de temperatura</i> | 52 |
| Tabla 9 <i>Selección de Motor a pasos</i> | 54 |
| Tabla 10 <i>Selección de Pantalla</i> | 55 |
| Tabla 11 <i>Selección de la tarjeta de control</i> | 56 |
| Tabla 12 <i>Pines de entrada y salida de la tarjeta de control</i> | 57 |
| Tabla 13 <i>Especificaciones Módulo Peltier</i> | 74 |
| Tabla 14 <i>Especificaciones Elemento Calentador</i> | 75 |
| Tabla 15 <i>Especificaciones Arduino Mega 2560</i> | 76 |
| Tabla 16 <i>Especificaciones Sensores de Voltaje FZ0430</i> | 76 |
| Tabla 17 <i>Especificaciones Sensor de Corriente ACS712</i> | 77 |
| Tabla 18 <i>Especificaciones Sensor de Temperatura NTC 10K</i> | 77 |
| Tabla 19 <i>Especificaciones bloque de relés</i> | 78 |
| Tabla 20 <i>Especificaciones pantalla LCD 20X04</i> | 78 |
| Tabla 21 <i>Especificaciones controlador TB6600</i> | 79 |
| Tabla 22 <i>Consumo de corriente para elementos de 5VDC</i> | 79 |
| Tabla 23 <i>Consumo de corriente para elementos de 12 VDC</i> | 80 |
| Tabla 24 <i>Especificaciones de fuentes de poder del circuito del módulo y circuito del calentador</i> | 88 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 25 <i>Valores obtenidos de la práctica Efecto Peltier posterior a la intervención</i> | 93 |
| Tabla 26 <i>Valores obtenidos de la práctica Efecto Lenz posterior a la intervención</i> | 94 |
| Tabla 27 <i>Valores obtenidos de la práctica Efecto Seebeck posterior a la intervención</i> | 95 |
| Tabla 28 <i>Valores obtenidos de la práctica Efecto Lenz posterior a la intervención</i> | 96 |
| Tabla 29 <i>Valores obtenidos de la práctica Efecto Lenz posterior a la intervención</i> | 97 |
| Tabla 30 <i>Presupuesto Materiales y Equipos</i> | 108 |
| Tabla 31 <i>Presupuesto Uso de servicios</i> | 109 |
| Tabla 32 <i>Presupuesto de Mano de Obra (relativo)</i> | 109 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Bomba de Calor Termoeléctrica Hilton</i> | 22 |
| Figura 2 <i>Banco de Pruebas Sistema de Bomba de Calor Mecánica</i> | 24 |
| Figura 3 <i>Circuito juntas Peltier</i> | 30 |
| Figura 4 <i>Circuito eléctrico Efecto Seebeck</i> | 31 |
| Figura 5 <i>Sensor de Temperatura</i> | 32 |
| Figura 6 <i>Sensor de voltaje</i> | 33 |
| Figura 7 <i>Sensor de Corriente</i> | 34 |
| Figura 8 <i>Módulo de 8 relés</i> | 35 |
| Figura 9 <i>Motores a pasos</i> | 36 |
| Figura 10 <i>Conexión Tarjeta de Control y Sensores</i> | 37 |
| Figura 11 <i>Ejemplo de HMI con tarjeta de adquisición de datos</i> | 38 |
| Figura 12 <i>Reóstato del equipo</i> | 41 |
| Figura 13 <i>Gráfica Efecto Peltier</i> | 42 |
| Figura 14 <i>Gráfica Efecto Lenz</i> | 43 |
| Figura 15 <i>Gráfica Efecto Seebeck</i> | 44 |
| Figura 16 <i>Gráfica Efecto Generador</i> | 45 |
| Figura 17 <i>Gráfica Coeficiente de Rendimiento</i> | 46 |
| Figura 18 <i>Interfaz Gráfica Efecto Peltier</i> | 64 |
| Figura 19 <i>Interfaz Gráfica Efecto Lenz</i> | 65 |
| Figura 20 <i>Interfaz Gráfica Efecto Seebeck</i> | 66 |
| Figura 21 <i>Interfaz Gráfica Efecto Generador</i> | 67 |
| Figura 22 <i>Interfaz Gráfica Coeficiente de Rendimiento</i> | 68 |
| Figura 23 <i>Interruptores del equipo previo a la intervención</i> | 69 |
| Figura 24 <i>Instalación de indicadores luminosos LED reemplazo de interruptores</i> | 70 |
| Figura 25 <i>Reóstatos controlados manualmente</i> | 71 |

| | |
|--|-----|
| Figura 26 <i>Instalación de indicadores luminosos LED reemplazo de reóstatos</i> | 71 |
| Figura 27 <i>Instalación de pantalla LCD 20X04</i> | 72 |
| Figura 28 <i>Instalación de sensores de temperatura</i> | 73 |
| Figura 29 <i>Cableado del equipo existente de fábrica</i> | 73 |
| Figura 30 <i>Instalación cableada del equipo posterior a intervención</i> | 74 |
| Figura 31 <i>Estado elemento calentador</i> | 75 |
| Figura 32 <i>Instalación interruptores térmicos</i> | 81 |
| Figura 33 <i>Gabinete metálico para control</i> | 82 |
| Figura 34 <i>Instalación de sensores de voltaje en tablero</i> | 82 |
| Figura 35 <i>Instalación de sensores de corriente en tablero</i> | 83 |
| Figura 36 <i>Instalación de bloques de relé en tablero</i> | 84 |
| Figura 37 <i>Shield para Arduino Mega 2560</i> | 86 |
| Figura 38 <i>Instalación Arduino Mega 2560 y Shield en tablero</i> | 86 |
| Figura 39 <i>Instalación controladores TB6600 para motores a pasos</i> | 87 |
| Figura 40 <i>Instalación fuentes de poder para circuitos del módulo y circuito del calentador</i> | 88 |
| Figura 41 <i>Instalación de reóstatos y motores a pasos</i> | 89 |
| Figura 42 <i>Instalación de bocines entre motores a pasos y reóstatos</i> | 89 |
| Figura 43 <i>Gráfica Efecto Peltier posterior a la intervención</i> | 94 |
| Figura 44 <i>Gráfica Efecto Lenz posterior a la intervención</i> | 95 |
| Figura 45 <i>Gráfica Efecto Seebeck posterior a la intervención</i> | 96 |
| Figura 46 <i>Gráfica Efecto Generador posterior a la intervención</i> | 97 |
| Figura 47 <i>Gráfica Coeficiente de Rendimiento posterior a la intervención</i> | 98 |
| Figura 48 <i>Gráfica Efecto Peltier previa intervención</i> | 98 |
| Figura 49 <i>Gráfica Efecto Peltier posterior a la intervención</i> | 99 |
| Figura 50 <i>Gráfica Característica Efecto Peltier</i> | 99 |
| Figura 51 <i>Gráfica Efecto Lenz previa intervención</i> | 100 |

| | |
|--|-----|
| Figura 52 <i>Gráfica Efecto Lenz posterior a la intervención</i> | 101 |
| Figura 53 <i>Gráfica Característica Efecto Lenz</i> | 101 |
| Figura 54 <i>Gráfica Efecto Seebeck previa intervención</i> | 102 |
| Figura 55 <i>Gráfica Efecto Seebeck posterior a la intervención</i> | 103 |
| Figura 56 <i>Gráfica Característica Efecto Seebeck</i> | 103 |
| Figura 57 <i>Gráfica Efecto Generador previa intervención</i> | 104 |
| Figura 58 <i>Gráfica Efecto Generador posterior a la intervención</i> | 104 |
| Figura 59 <i>Gráfica Característica Efecto Generador</i> | 105 |
| Figura 60 <i>Gráfica Coeficiente de Rendimiento previa intervención</i> | 106 |
| Figura 61 <i>Gráfica Coeficiente de Rendimiento posterior a la intervención</i> | 106 |
| Figura 62 <i>Gráfica Característica Coeficiente de Rendimiento</i> | 107 |

Resumen

Los equipos de laboratorio permiten realizar varios tipos de ensayos a nivel educativo para poner en práctica los conocimientos adquiridos en las aulas de estudio. Uno de estos equipos es la Bomba de Calor Termoeléctrica que permite a los alumnos investigar las siguientes características: Efecto refrigerador, características de bomba de calor, Efecto Peltier, Efecto Lenz, Efecto Seebeck, Efecto Generador y Coeficiente de Rendimiento. Este equipo está construido alrededor de un Módulo Peltier, dispositivo que explota el efecto Peltier utilizando semiconductores. El Efecto Peltier, que es el inverso del Efecto Seebeck o par termoeléctrico, se produce cuando una corriente continua pasa a través de un circuito de conductores disímiles. El paso de corriente hace que se presenten diferencias de temperaturas entre las uniones de los conductores del circuito. El presente proyecto realiza la Repotenciación, Calibración, Mantenimiento e Implementación de un Sistema de Adquisición de datos para la puesta a punto del equipo antes mencionado perteneciente al Laboratorio de Conversión de Energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Por la antigüedad del equipo, los repuestos para su correcto funcionamiento ya no existen en el mercado y hace que el desarrollo de las prácticas sean difíciles o imposibles de realizarlas. Gracias a la repotenciación realizada al equipo de laboratorio, será posible la realización de las prácticas con normalidad con la implementación de sensores para obtener todas las variables necesarias para el estudio de los diferentes experimentos que se pueden realizar con el equipo a través de una interfaz gráfica que permite la visualización de las diferentes variables así como también realizar el control de la potencia de los circuitos facilitando de esta manera el desarrollo de los diferentes experimentos y sobre todo la puesta en marcha de este equipo de laboratorio.

Palabras clave: Bomba Termoeléctrica, Efecto Peltier, Efecto Lenz, Efecto Seebeck, Efecto Generador.

Abstract

Laboratory equipment allows performing various types of tests at an educational level to put into practice the knowledge acquired in the study classrooms. One of these equipment is the Thermoelectric Heat Pump that allows students to investigate the following characteristics: Refrigerator effect, heat pump characteristics, Peltier Effect, Lenz Effect, Seebeck Effect, Generator Effect and Coefficient of Performance. This equipment was constructed around a Peltier Module, a device that exploits the Peltier effect using semiconductors. The Peltier Effect, which is the inverse of the Seebeck Effect or thermoelectric couple, occurs when a direct current passes through a circuit of dissimilar conductors. The passage of current causes temperature differences to occur between the junctions of the circuit conductors. This project carries out the Repowering, Calibration, Maintenance and Implementation of a Data Acquisition System for the tuning of the aforementioned equipment belonging to the Energy Conversion Laboratory of the University of the Armed Forces - ESPE. Due to the age of the equipment, the spare parts for its correct operation no longer exist in the market and it makes the development of the practices difficult or impossible to carry out. Thanks to the repowering realized on the laboratory equipment, it will be possible to perform the practices normally with the implementation of sensors to obtain all the necessary variables for the study of the different experiments that can be performed with the equipment through a graphical interface that allows the visualization of the different variables as well as to control the power of the circuits, thus facilitating the development of the different experiments and, above all, the start-up of this laboratory equipment.

Key words: Thermoelectric Pump, Peltier Effect, Lenz Effect, Seebeck Effect, Generator Effect

Capítulo I: Generalidades

Antecedentes

La crisis energética provocada por el cambio climático y el aumento de la demanda es una realidad en la actualidad. En algunas regiones del orbe los precios del gas natural, petróleo y carbón, se han disparado, lo que produce una gran incertidumbre sobre todo cuando en dichas regiones existe un marcado invierno como el boreal por ejemplo ya que en esta época existe una mayor demanda energética tanto para iluminación como para calefacción.

(France24, 2021)

Según la Agencia Europea de medio ambiente (AEMA), la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo son retos clave del siglo XXI. En el centro de estos retos se encuentra la crisis energética; más específicamente, el consumo global de energía y sobre todo la dependencia de los combustibles fósiles. Para tener éxito en limitar el calentamiento global, el mundo necesita con urgencia utilizar la energía de manera eficiente, así como cambiar a fuentes de energía limpias para transportar, calentar o enfriar. (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2017)

Uno de los usos energéticos de mayor relevancia en el mundo y en específico en Ecuador, es el uso de sistemas de refrigeración y congelamiento, es aquí que según la revista digital “Ecuador Verifica”, cita un estudio realizado en el 2017 que concluye sobre el uso del aire acondicionado en el país, y este proceso representa un 20% del consumo total, seguido por el de refrigeración con un 19%. (EcuadorVerifica, 2021)

Existen varias formas de conseguir el efecto refrigerante, siendo el más común el que cumple con el ciclo de refrigeración por compresión, no se puede dejar de lado también los ciclos por absorción, por licuefacción y el de gas. (Çengel & Boles, 2015)

El ciclo de refrigeración por compresión ha sufrido muchas modificaciones tecnológicas a lo largo del tiempo, lo que ha desembocado en una mayor eficiencia, mejora en el uso de refrigerantes, los mismos que a su vez han dejado de depender del cloro, elemento que reacciona con la capa de ozono muy fácilmente y que ha provocado el debilitamiento de la misma, a más de contribuir con el calentamiento global.

Otro método de producir frío es aquel que utiliza el principio termoeléctrico por medio del llamado efecto Peltier, que tienen la capacidad de bombear calor en forma reversible en una dirección definida y que además ha sufrido grandes avances por el descubrimiento de nuevos materiales semiconductores. (ESPE, 2021)

Sin embargo, la capacidad y eficiencia máximas de los sistemas de refrigeración Peltier son considerablemente más bajas que las de los sistemas con compresor. Habría que contar con unos costes energéticos significativamente superiores en los equipos de refrigeración y congelación estándares y asumir una pérdida calorífica mayor. (ESPE, 2021)

En el campo de la ingeniería Mecatrónica, el conocimiento del área energética es de vital importancia ya que los sistemas energéticos están presentes en todo proceso doméstico e industrial, sobre todo en lo referente al tema de refrigeración y aire acondicionado como se expuso en párrafos anteriores, los mismos que han tenido grandes desarrollos tecnológicos aplicando sistemas mecatrónicas de control y adquisición de datos los que redundan en mejorar la eficiencia energética de estos procesos.

Es así que la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, siempre visionaria, adquirió en el pasado equipos de refrigeración para prácticas de laboratorio e investigación, entre ellos la bomba de calor termoeléctrica Hilton como se muestra en la Figura 1, esta utiliza un módulo Peltier para demostrar cómo se puede hacer que la energía eléctrica genere calor y a la vez refrigere.

Figura 1

Bomba de Calor Termoeléctrica Hilton



Con este equipo se puede observar también el proceso inverso al principio Peltier, el efecto Thompson o Lenz, invirtiendo la dirección de la corriente continua. Cuando existe una diferencia de temperatura a través del módulo, éste funciona como un termopar, produciéndose un voltaje a circuito abierto a través del mismo. Conocido como el efecto Seebeck. Si se dispone de una carga eléctrica adecuada entre los terminales de un módulo, se puede hacer que funcione como generador de energía eléctrica. Cuando se añade una cantidad de calor conocida al lado frío del módulo y se conserva su temperatura a la temperatura ambiente ajustando la potencia del módulo, se determina fácilmente el coeficiente de rendimiento de refrigeración.

El módulo queda metido (como en un sandwich) entre dos bloques de aluminio que proporcionan tanto robustez mecánica como orificios para meter termómetros para medir el rendimiento. Un elemento de aleación de cromoníquel calienta la superficie exterior del bloque

de aluminio del lado frío y el conjunto formado por este bloque adicional el calentador queda aislado térmicamente.

Los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE han desarrollado trabajos relacionados al tema de la Termoelectricidad, con la desventaja de que no han sido desarrollados directamente para la universidad si no para empresas auspiciantes.

Uno de estos trabajos se basa en el diseño e instalación de los sistemas de alimentación de: combustible, aceite, vapor, aire, agua, montaje y puesta en operación de una unidad termoeléctrica Wärtsilä Diesel, el mismo que es un conjunto motor generador de tipo marino. El generador es impulsado por el motor que gira 900 rpm y consta de 8 cilindros en línea y de simple acción, con turbocargador y enfriadores de aire. El montaje del grupo generador se inició con la construcción de las bases de hormigón para el motor y los sistemas auxiliares de alimentación, seguidamente se instaló toda la tubería de alimentación de agua desmineralizada para el funcionamiento del circuito de enfriamiento. Se instaló el sistema de alimentación de combustible liviano y pesado, en el caso de la tubería de combustible pesado se le adicionó una tubería acompañante de vapor, se realizó todos los cálculos para determinar el espesor del aislamiento para dicha tubería. Se instaló además una bomba de recolección de residuos. Para el sistema de alimentación de vapor se diseñó y construyó un múltiple de vapor para distribuir a los módulos y tuberías que lo requieren. Para el abastecimiento de aire comprimido de arranque se instaló un compresor adicional, para elevar la presión y se calculó las pérdidas en accesorios y tubería para verificar la caída de presión en el sistema. (Lasluiza Navarrete, 2016)

Otra de las investigaciones realizadas respecto al tema de termoelectricidad es el estudio de factibilidad técnica y económica para el desarrollo de una instalación termoeléctrica de 160 KW mediante la combustión de biogás. Para lograr el objetivo, se pretendía aprovechar

el efluente generado en la extractora de aceite de palma de la empresa auspiciante. (Gallardo Ocampo & Riofrío Andrade, 2010)

El artículo científico denominado "Diseño y construcción de un banco de pruebas para un sistema de bomba de calor mecánica de 1hp de capacidad, que usa refrigerante R-404A, con aplicación en un horno para secado de materia orgánica, para el Laboratorio de Conversión de Energía del D.E.C.E.M.", es uno de los trabajos realizados para la Universidad. En el equipo se pueden realizar prácticas de laboratorio como: puesta en marcha del sistema, trazado del ciclo termodinámico del sistema de bomba de calor tanto frío como el de calor, transporte de aire mediante ductos fijos y flexibles, caldas de presión en los mismos y velocidades de salida de aire mediante difusores y rejillas. Además, en el proyecto de tesis, se ha elaborado las aulas de laboratorio con el propósito facilitar al estudiante la manipulación y operación del banco de pruebas, aprovechar las prestaciones didácticas en el aprendizaje de la cátedra de Refrigeración. Se diseñó y construyó un banco de pruebas para un sistema de bomba de calor mecánica de 1hp de capacidad, que usa refrigerante R404A, con aplicación en un secador para secar materia orgánica. (Fierro Leverone, 2013)

Figura 2

Banco de Pruebas Sistema de Bomba de Calor Mecánica



Planteamiento del Problema

En el laboratorio de Conversión de Energía todos los proyectos realizados en cumplen con una función específica, la misma que se encuentra como soporte para cada una de las asignaturas en las cuales se desarrollan las diferentes prácticas, es así que cuando los estudiantes cursan la materia de termodinámica observan procesos de calentamiento y enfriamiento, en equipos como refrigeradores y la bomba de calor mecánica entre otros, estos dispositivos generalmente usan un sistema con fluido caloportador, el mismo que se encarga de entregar o absorber energía del medio circundante.

En el caso de la bomba de Calor Termoeléctrica la transferencia de calor se produce por la inducción de una corriente eléctrica, la misma que excita a dos materiales disímiles provocando un doble efecto de calentamiento-enfriamiento, el mismo que mediante la llamada célula Peltier es utilizada para el accionamiento de pequeños refrigeradores. Lastimosamente la observación de este efecto se ha visto truncada por la falta de uso del dispositivo con el que cuenta el laboratorio.

Definición del Problema

Como se explicó en párrafos anteriores, el estudio energético del intercambio de calor para obtener procesos de calentamiento o enfriamiento es muy amplio, y los avances tecnológicos en este ámbito van a pasos agigantados, pero la teoría básica que rigen estos modelos se mantiene en los conceptos que dictan las diferentes leyes tanto físicas como termodinámicas, es así que al tener el Laboratorio un equipo en el que se pueden verificar dichos conceptos teóricos, y no se lo pueda usar por diferentes razones tanto técnicas como económicas (al tratarse de la compra de repuestos por falta de presupuesto), como es el caso de la Bomba de Calor Termoeléctrica, se vuelve un problema ya que los estudiantes, futuros profesionales, van sin este bagaje de conocimientos al campo laboral, restando así una parte de competitividad al momento de innovar procesos de enfriamiento en muchos casos.

Objetivos

Objetivo General

“Realizar la repotenciación, calibración, mantenimiento e implementación de un sistema de adquisición de datos para la puesta a punto de la Bomba Termoeléctrica perteneciente al laboratorio de Conversión de Energía”

Objetivos Específicos

- Realizar el mantenimiento correctivo y predictivo de los elementos y partes de la Bomba de Calor Termoeléctrica
- Rehabilitar los sistemas eléctricos, electrónicos y mecánicos de la Bomba de Calor Termoeléctrica
- Realizar el diseño e implementación de las conexiones eléctricas, electrónicas y mecánicas necesarias para el proceso de automatización necesarias garantizando la seguridad del equipo y del operario.

Alcance del Proyecto

Entregar un equipo funcional, rehabilitado, repotenciado y con un sistema de automatización de toma de datos y de ingreso de variables al sistema del equipo con la utilización de un HMI, la misma que permitirá ingresar los valores deseados, así como también la selección de los diferentes experimentos para el desarrollo de las de los múltiples experimentos que se pueden realizar en el banco de pruebas. Para lograr la meta indicada se dará uso de la norma VDI 2206, que se ha convertido en la primera guía mecatrónica, la cual permite modularizar el sistema, enfocar las diferentes áreas implicadas para su posterior concurrencia, logrando así la optimización del sistema según los requisitos de diseño.

Justificación

El Laboratorio de Conversión de Energía del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica se ha caracterizado por emprender sendos proyectos de recuperación, actualización y automatización de los diferentes bancos de prueba existentes en el mismo, lo que ha redundado en un ahorro significativo para la Institución, ya que se ha evitado realizar ingentes compras de equipos, involucrando tanto a docentes como estudiantes en este proceso de repotenciación del equipamiento, donde los conocimientos mecatrónicos adquiridos por los estudiantes juegan un papel fundamental en este proceso de rehabilitación sobre todo en lo referente al diseño de sistemas HMI (Human-Machine Interface).

Gracias al trabajo en conjunto entre docentes y estudiantes actualmente numerosos proyectos de modificación, construcción y adaptación se han desarrollado dentro de las instalaciones del laboratorio de Conversión de Energía, con el objetivo de cubrir las necesidades que el cuerpo estudiantil pudiera tener, brindando equipos funcionales, el presente trabajo busca continuar con la esta línea de desarrollo, rehabilitando y automatizando un equipo (que actualmente no presta servicio) capaz de efectuar experimentos como el efecto Peltier, por ejemplo.

El presente proyecto plantea varios beneficios o valores agregados que implican la justificación del presente proyecto sobre la rehabilitación de la Bomba de calor termoeléctrica, tales como:

- Efecto refrigerador.
- Características de bomba de calor.
- Efecto Peltier.
- Efecto Lenz
- Efectos Seebeck

- Efecto generador.
- Coeficiente de rendimiento.

La bomba de calor termoeléctrica Hilton se ha proyectado para permitir a los alumnos que investiguen las siguientes características de un módulo Peltier:

- Recuperación y puesta en marcha del equipo existente en el laboratorio
- Complemento para la ejecución de proyectos de investigación.
- Equipo práctico que complementará el proceso de enseñanza –

aprendizaje que coadyuvará con la formación del cuerpo estudiantil de las carreras de Ingeniería Mecatrónica y Mecánica

- Ampliará la oferta de conocimiento práctico del laboratorio de Conversión de Energía

- Mayor poder de cobertura de los equipos existentes en el laboratorio.
- Mostrar los valores de Voltaje, Amperaje y Resistencia del reóstato de manera digital tanto en la interfaz gráfica (HMI) como en el display instalado en el equipo.

- Visualizar las diferentes gráficas respectivas a la práctica que se esté desarrollando según el efecto estudiado (Efecto Peltier, Efecto Lenz, Efecto Seebeck, Efecto Generador y su Coeficiente de Rendimiento como Refrigerador) cada una con sus respectivas unidades en la interfaz gráfica para el usuario (HMI).

Capítulo II: Marco Teórico

Bomba de Calor Termoeléctrica

Una bomba de calor es un dispositivo que transfiere calor de un medio de baja energía a un medio de alta energía, dicho en otras palabras, transfiere calor de una zona de baja temperatura a una zona de alta temperatura, por medio de un trabajo, es decir que realiza el mismo efecto que un ciclo Carnot inverso, pero su objetivo es diferente.

Dentro del ámbito de la Bomba de calor existen algunos tipos, pero la más conocida es la que utiliza el principio de cambio de fase de un fluido conocido como refrigerante, mediante un proceso de compresión idealmente asumido como un proceso isentrópico, a este dispositivo se lo conoce como Bomba de Calor Mecánica, la misma que difiere de la bomba de Calor Termoeléctrica en su concepción ya que la segunda utiliza el principio termoeléctrico mediante el cual se tienen dos materiales semiconductores disimiles que reacciona de diferente manera al ser excitados por una corriente eléctrica, es decir mientras el uno se calienta el otro se enfría.

La bomba de calor termoeléctrica generalmente está compuesta por las llamadas celdas Peltier los cuales son enfriadores termoeléctricos los mismos que al paso de una corriente eléctrica, como se explicó en el párrafo anterior, produce la presencia de diferencias de temperatura, es decir una cara se enfría, en tanto que la otra se calienta. Este proceso se conoce como el efecto Peltier y consiste en el enfriamiento o calentamiento de una unión entre dos semiconductores distintos que reaccionan al paso de una corriente eléctrica y que depende exclusivamente de la composición y temperatura de la unión. (Patterson & Sobral, 2007)

Por la versatilidad de la Bomba de calor Termoeléctrica, se puede visualizar varios efectos a parte del efecto Peltier antes descrito y estos son los siguientes:

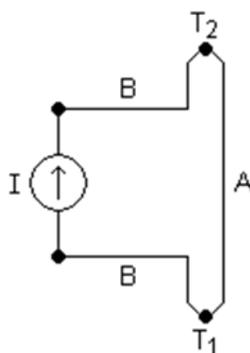
Efecto Peltier

Para poder explicar el efecto Peltier es necesario conocer que el mismo nace como una propiedad termoeléctrica descubierta por Jean Peltier en el año de 1834 y hace referencia a la

creación de un ΔT debido a la presencia de un voltaje eléctrico, al pasar por la llamada junta de Peltier, que no es otra cosa que la unión de dos metales o semiconductores, esta corriente provoca una transferencia de calor entre juntas produciéndose el calentamiento de la una y el enfriamiento de la otra, ya que los electrones fluyen de una región de alta densidad a otra región de baja densidad.

Figura 3

Circuito juntas Peltier



Nota La figura mostrada representa al circuito de juntas Peltier. Tomado de Equipos y Laboratorio de Colombia. (s.f.). *El Efecto Termoeléctrico*.

<https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/el-efecto-termoelEctrico>

Como se puede observar en la Figura 3 al momento que pasa una corriente por el circuito, se genera un calor en la junta superior (T_2) el mismo que es absorbido por la junta inferior (T_1). A y B representan a los materiales semiconductores.

Efecto Lenz

También llamado efecto Thomson describe el campo magnético inducido por una corriente generada por un cambio en un flujo magnético (ley de Faraday) y contrarresta el cambio en el flujo por medio del cual se calienta o enfría un material semiconductor excepto un material super conductor este cumple con la siguiente expresión:

$$q = \rho J^2 - \mu J \frac{dT}{dx}$$

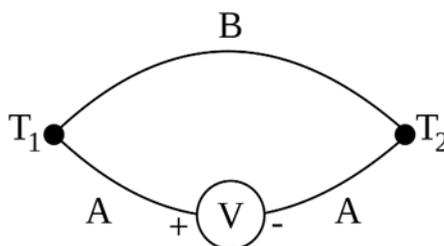
Donde: ρ es la resistividad del material, dT/dx es el gradiente de temperatura en el material, μ es el coeficiente de Thomson.

Efecto Seebeck

Este efecto representa el contrario del efecto Peltier, es decir representa la conversión de una diferencia de temperatura en forma directa a electricidad, debido a la excitación de los electrones a niveles energéticos de una manera diferente dependiendo siempre del tipo de material semiconductor, lo que provoca una diferencia de potencial en la unión y a su vez induce la creación de una corriente de circuito, lo que produce un campo magnético como se puede observar en la Figura No 4.

Figura 4

Circuito eléctrico Efecto Seebeck



Nota La figura mostrada representa al circuito donde muestra la diferencia de temperatura en las uniones de dos conductores de diferentes materiales generando un flujo de electrones. Tomado de Salamarkesa (s.f.). *¿Qué es un termopar? Definición, funcionamiento y utilidad.* <https://www.salamarkesa.com/termopar-que-es-termogenerador-funcionamiento-uso/>

Utilizando la potencia del calentador, crea una diferencia de temperatura a través del módulo. Cuando se haya estabilizado, es importante anotar el voltaje a circuito abierto que aparece en el voltímetro del módulo. Ahí se puede observar que el voltaje y la temperatura tienen una relación lineal.

Efecto Refrigerador

Se define como la diferencia de entalpías entre los puntos en los cuales se ubicará el evaporador, de tal forma que esta ecuación describa la capacidad de enfriamiento por parte del evaporador.

Efecto Generador

Como se ha expuesto existe un módulo al que se aplica un gradiente de temperatura, usando un potencial energético del calentador para luego introducir una carga eléctrica.

Coefficiente de Rendimiento

Es una expresión de la eficiencia de una bomba de calor, la salida de calor del condensador se compara con la potencia suministrada al compresor.

Sensores de medición

Sensores de temperatura

Permitirán realizar la toma de temperatura en los orificios de la bomba de calor termoeléctrica. Estos valores actualmente no se pueden obtener ya que esta toma de datos se lo realizaba de manera manual y por la antigüedad del equipo no fue posible encontrar repuestos de los termómetros utilizados. Por esta razón, no se puede obtener valores de la temperatura y por ende el no desarrollo de la práctica y la no utilización del equipo.

Figura 5

Sensor de Temperatura



Nota La figura muestra un ejemplo de sensor utilizado para la medición de temperatura.

Tomado de Sentera Controls. (s.f.). *Sonda pasiva de temperatura NTC 10 Kohm - cable de 2*

hilos - 1 m. <https://www.sentera.eu/es/detallesdelproducto/sonda-pasiva-de-temperatura-ntc-10-kohm-cable-de-2-hilos-1-m/138163>

Sensores de voltaje

Los cuales permiten realizar la medición de:

- voltaje en el circuito del módulo,
- voltaje en el circuito del generador
- voltaje en el circuito del calentador.

Estos valores medidos se podrán comparar con los valores mostrados en los sensores analógicos presentes actualmente en el equipo, cada uno en sus respectivas unidades.

Figura 6

Sensor de voltaje



Nota Esta figura muestra a un sensor de voltaje utilizado con la placa Arduino. Tomado de Arrieta, V. (2019, 25 de enero). *Sensor de voltaje FZ0430 con Arduino*.

<https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/sensor-de-voltaje-fz0430-con-arduino>

Sensores de corriente

Los cuales permitirán realizar la medición de:

- corriente en el circuito del módulo,
- corriente en el circuito del generador

- corriente en el circuito del calentador.

Estos valores medidos se podrán comparar con los valores mostrados en los sensores analógicos presentes actualmente en el equipo, cada uno en sus respectivas unidades.

Figura 7

Sensor de Corriente



Nota Esta figura muestra a un sensor de corriente utilizado con la placa Arduino. Tomado de Anasi, V.(2021, 16 de mayo). *Sensor de corriente Acs712 con Arduino*. <https://microlab.ec/blog/sensor-de-corriente-ac712-con-arduino/>

Actuadores

Relays

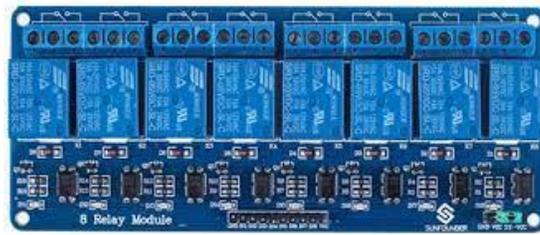
Permiten realizar el reemplazo de los interruptores presentes en la actualidad, los mismos que son:

- Interruptor Normal / Seebeck
- Interruptor Peltier / Lenz
- Interruptor Normal / Generador
- Interruptor de Desconexión del calentador

Estos interruptores ayudan a la selección del experimento a realizarse en el equipo. Con la automatización de estos interruptores, se podrá seleccionar el experimento a realizarse directamente desde la interfaz gráfica (HMI).

Figura 8

Módulo de 8 relés



Nota Esta figura muestra a un módulo de 8 relés independiente utilizado con la placa Arduino.

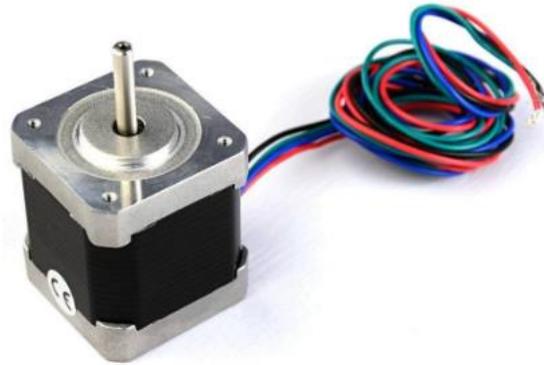
Tomado de Del Valle, Luis. (s.f.). *Relé con Arduino y ESP8266 para crear una lámpara inteligente*. <https://programafacil.com/blog/arduino-blog/rele-con-arduino-lampara/>

Motor a pasos

Permitirán variar y establecer de manera más precisa los valores de:

- Resistencia en el reóstato para realizar el control de potencia al módulo
- Resistencia en el reóstato para realizar el control de potencia al elemento calentador.

Esto se lo hace de manera manual en la actualidad. Con la implementación de estos motores se lo podrá realizar de manera digital, siendo más preciso los valores obtenidos en la práctica.

Figura 9*Motores a pasos*

Nota Esta figura muestra un ejemplo de motor a pasos que puede ser utilizado con la placa Arduino con la ayuda de un controlador. Tomado de Geek Factory. (2017, 25 de agosto). *Motor a pasos tutorial introductorio*. <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/motor-a-pasos-tutorial-introductorio/>

Tarjeta de Control

Permita obtener todos los datos requeridos para el desarrollo de los diferentes experimentos, los mismo que son temperatura, voltaje, corriente; así como también que permita enviar los datos desde la interfaz gráfica y pueda funcionar como actuador para setear los valores de la resistencia en los reóstatos a través de los motores a paso. Este controlador debe de brindar la oportunidad de mostrar los datos medidos en la pantalla LCD que será instalada en el equipo existente, así como también permitir la conexión entre la interfaz gráfica HMI y los diferentes componentes electrónicos a utilizarse en el proyecto.

Figura 10

Conexión Tarjeta de Control y Sensores.



Nota Ejemplo de conexión de la Tarjeta de Control y Sensores. Tomado de Naylamp Mechatronics. (s.f.). *Tutorial sensor de corriente ACS712*.

https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html

Interfaz Gráfica HMI

Un sistema HMI (Human Machine Interface) es una interfaz de usuario que permite comunicar una máquina con un ser humano. Con el uso de un sistema HMI se facilita la comunicación entre la máquina y el operador, con el fin de que éste pueda ejecutar sus tareas correctamente con mayor comodidad y de forma rápida.

Todo sistema HMI debe conectarse a una máquina, puede ser una máquina programada para funcionar de manera automática o una máquina programada para funcionar bajo la intervención de una persona. En el primer caso, la máquina debe tener una interfaz de control, por lo general el bus de campo o el bus de serie. En el segundo caso, la máquina debe tener unas salidas de señal o contactos de mando que puedan ser controlados desde el sistema HMI.

Las interfaces hombre-máquina se pueden presentar en diferentes formatos, desde pantallas en máquinas y monitores de ordenador, hasta pantallas táctiles y dispositivos

inteligentes. Independientemente de su formato o de los términos que se utilicen para referirse a ellas, su finalidad es brindar información sobre la máquina de su desarrollo de procesos productivos y de rendimiento.

La información que se recibe de las máquinas se distribuye en dos grandes clases: información estadística y información de control. Estas dos clases de información pueden sintetizarse en una única, la información de supervisión, que recoge la información estadística y de control y proporciona una visión global del sistema, como se puede observar en la Figura No 11.

Figura 11

Ejemplo de HMI con tarjeta de adquisición de datos



Nota La figura muestra uno de los sin número de diseños que se pueden realizar a través de una interfaz humano máquina. Tomado de Jadas Tech. (2022). *Serie HMI #3: interfaz gráfica de control - ESP32 – Windows*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=AcTMY-7znSk>

Capítulo III: Repotenciación de la Bomba Termoeléctrica

Levantamiento técnico del estado actual del equipo.

La bomba de calor termoeléctrica existente en el laboratorio de Conversión de Energía, fue construida por la empresa HILTON Ltd. Está construida alrededor de un módulo Peltier que utiliza materiales semiconductores como elementos importantes para las juntas.

Por la antigüedad de este equipo, que ha sobrepasado ya su tiempo de vida útil, la tecnología utilizada para su construcción es netamente analógica, donde se puede encontrar termómetros de mercurio, voltímetros y amperímetros como principal instrumentación del sistema, todos los circuitos y módulos termoeléctricos vienen montados en una caja metálica, donde se han colocado todos los interruptores para la realización de los diferentes experimentos, además de los reóstatos con los cuales se varía el paso de corriente eléctrica.

Mantenimiento Correctivo

Realizada la primera inspección de la Bomba de Calor Termoeléctrica se encontraron los siguientes problemas para el correcto funcionamiento de la misma.

El primer problema fue la dificultad que existía para medir temperatura tanto del lado caliente como del lado frío en el módulo Peltier, siendo esto lo más importante ya que en esto se basa los diferentes experimentos a realizarse en este equipo. Para realizar las pruebas previas a la intervención del equipo se utilizó un termómetro digital externo proveído en el Laboratorio para obtener estas mediciones.

Una vez solventado el inconveniente para la toma de datos de temperatura, se encontraron problemas en los reóstatos que controlan el amperaje tanto en el circuito del módulo como en el circuito del calentador. Estos reóstatos disponen de un carbón que permite la variación de la resistencia en el mismo y de esta forma variar la potencia de los circuitos antes mencionados. Estos carbones no estaban disponibles en estos elementos y para hacer

las pruebas previas a la intervención, se utilizaron carbones utilizados en las herramientas eléctricas para tratar de suplir a los originales. Esto causaba mucha variación en los valores de la potencia del equipo, haciendo que las temperaturas varíen frecuentemente y sean valores no acordes a los especificados por el fabricante. Luego de realizar el acople temporal de los carbones, se pudieron obtener los valores de los diferentes experimentos para lograr conocer el estado previo a la intervención del equipo.

Procesos de manufactura de elementos mecánicos

Al ser el equipo hasta cierto punto un tanto básico en lo referente a componentes netamente mecánicos no presenta problemas o daños que refieran una intervención de reconstrucción o de construcción de algún tipo de elemento, por lo que en este apartado simplemente se limpió y pintó en ciertos casos al equipo.

Mantenimiento y corrección del sistema eléctrico

Con respecto a los problemas existentes en la variación de potencia debido a las fallas en el reóstato como se observa en la Figura 12, se realiza el cambio de reóstato reemplazando los dos existentes por reóstatos nuevos con una resistencia de 10 ohm y una potencia de 100 Watts cumpliendo con las necesidades del equipo ya que el mismo tiene una potencia máxima de 75 Watts y la resistencia especificada por el fabricante. Se reemplaza la manipulación manual de los reóstatos con la implementación de 2 motores a pasos Nema 23 comandados por el módulo TB6600, los cuales permitirán realizar la variación de los reóstatos a través de la interfaz gráfica.

Figura 12*Reóstato del equipo***Pruebas de funcionamiento en vacío**

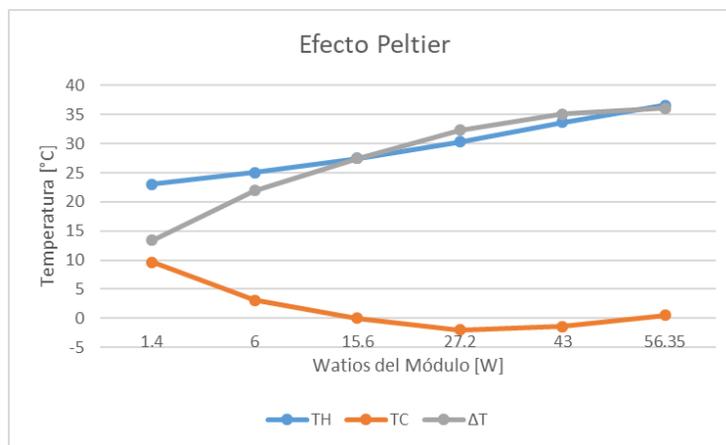
Los resultados de los diferentes experimentos realizados se los puede visualizar en las siguientes tablas:

Efecto Peltier

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos del equipo previo a la intervención para la práctica de Efecto Peltier.

Tabla 1*Valores obtenidos de la práctica Efecto Peltier*

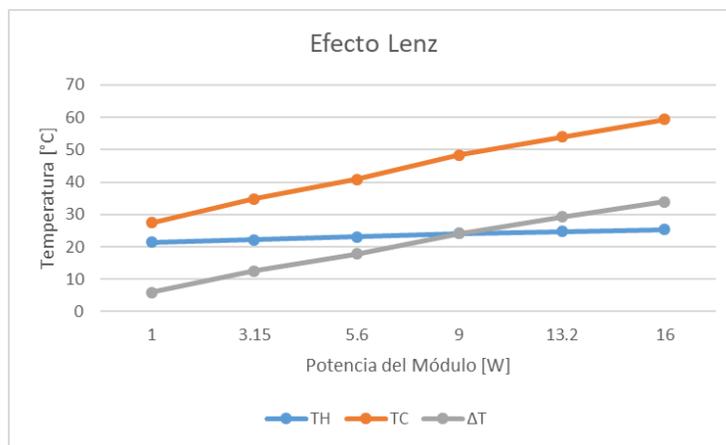
| Corriente Módulo [A] | Voltaje [V] | Potencia [W] | TH [°C] | TC [°C] | ΔT |
|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|----------------|------------------------------|
| 2 | 0.7 | 1.4 | 23 | 9.6 | 13.4 |
| 4 | 1.5 | 6 | 25 | 3.1 | 21.9 |
| 6 | 2.6 | 15.6 | 27.5 | -0.07 | 27.57 |
| 8 | 3.4 | 27.2 | 30.3 | -2 | 32.3 |
| 10 | 4.3 | 43 | 33.7 | -114 | 35.1 |
| 11.5 | 4.9 | 56.35 | 36.6 | 0,5 | 36.1 |

Figura 13*Gráfica Efecto Peltier***Efecto Lenz**

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos del equipo previo a la intervención para la práctica de Efecto Lenz.

Tabla 2*Valores obtenidos de la práctica Efecto Lenz*

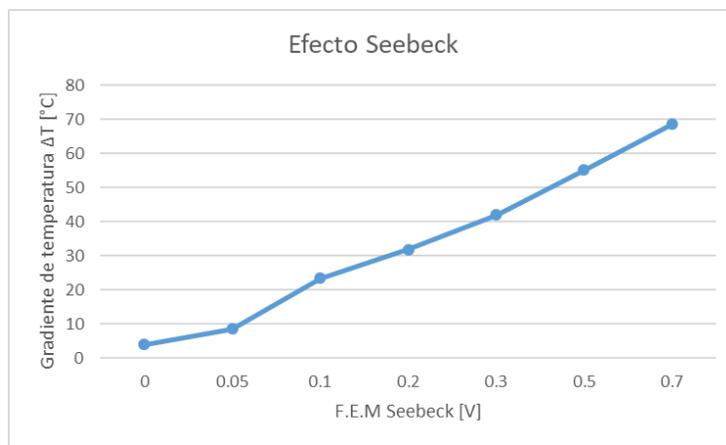
| Corriente Módulo [A] | Voltaje [V] | Potencia [W] | TH [°C] | TC [°C] | ΔT |
|----------------------|-------------|--------------|---------|---------|-------|
| 1 | 1 | 1 | 21.5 | 27.4 | -5.9 |
| 1.5 | 2.1 | 3.15 | 22.2 | 34.8 | -12.6 |
| 2 | 2.8 | 5.6 | 23.1 | 40.9 | -17.8 |
| 2.5 | 3.6 | 9 | 24.1 | 48.3 | -24.2 |
| 3 | 4.4 | 13.2 | 24.7 | 53.9 | -29.2 |
| 3.2 | 5 | 16 | 25.4 | 59.3 | -33.9 |

Figura 14*Gráfica Efecto Lenz***Efecto Seebeck**

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos del equipo previo a la intervención para la práctica de Efecto Seebeck.

Tabla 3*Valores obtenidos de la práctica Efecto Seebeck*

| Corriente Calentador [A] | Voltaje [V] | TH [°C] | TC [°C] | ΔT | f.e.m |
|--------------------------|-------------|---------|---------|-------|-------|
| 1 | 3.7 | 22.8 | 26.8 | -4 | 0 |
| 1.5 | 5 | 24.2 | 32.8 | -8.6 | 0 |
| 2 | 7 | 26.8 | 50.2 | -23.4 | 0.1 |
| 2.5 | 8.1 | 28.2 | 60 | -31.8 | 0.2 |
| 2.8 | 9.5 | 30 | 72 | -42 | 0.3 |
| 3 | 10.8 | 31.7 | 86.9 | -55.2 | 0.5 |
| 3.4 | 12 | 33.5 | 102 | -68.5 | 0.7 |

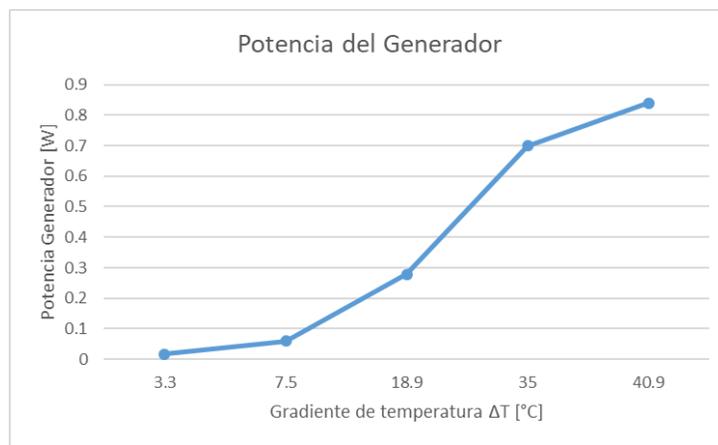
Figura 15*Gráfica Efecto Seebeck***Efecto Generador**

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos del equipo previo a la intervención para la práctica de Efecto Generador.

Tabla 4

Valores obtenidos de la práctica Efecto Generador

| Voltaje Calentador [V] | Amperaje Calentador [A] | TH [°C] | TC [°C] | ΔT | Voltaje [V] | Amperaje [A] | Potencia [W] |
|------------------------|-------------------------|---------|---------|------------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | 3.5 | 21.3 | 24.6 | -3.3 | 0.5 | 0.035 | 0.0175 |
| 1.5 | 5 | 22.8 | 30.3 | -7.5 | 0.8 | 0.075 | 0.06 |
| 2 | 7 | 25.2 | 44.1 | -18.9 | 1.8 | 0.155 | 0.279 |
| 2.5 | 8.5 | 27.9 | 62.9 | -35 | 3.5 | 0.2 | 0.7 |
| 2.8 | 10 | 29.4 | 70.3 | -40.9 | 4 | 0.21 | 0.84 |

Figura 16*Gráfica Efecto Generador***Coeficiente de Rendimiento**

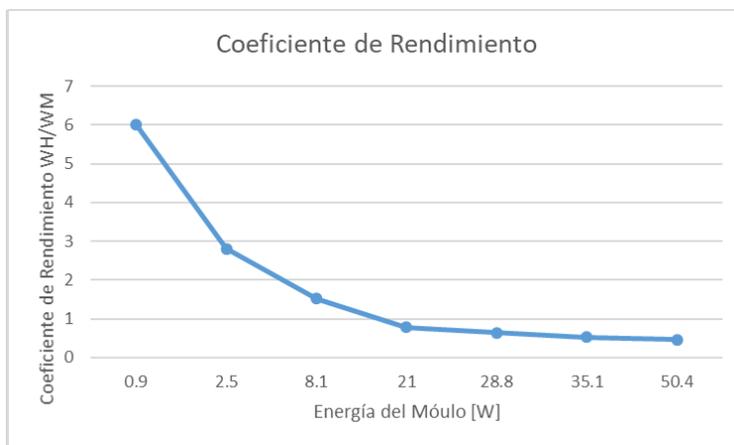
La siguiente tabla muestra los valores obtenidos del equipo previo a la intervención para la práctica de Coeficiente de Rendimiento.

Tabla 5*Valores obtenidos de la práctica Coeficiente de Rendimiento*

| Voltaje Módulo [V] | Amperaje Módulo [A] | Potencia Módulo [W] | Voltaje Calentador [V] | Amperaje Calentado [A] | Potencia Calentado [W] | Coef de Rend | TH [°C] | TC [°C] | ΔT |
|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------|---------|---------|------------|
| 1.5 | 0.6 | 0.9 | 4.5 | 1.2 | 5.4 | 6 | 21.5 | 16.3 | 5.2 |
| 2.5 | 1 | 2.5 | 5 | 1.4 | 7 | 2.8 | 22.8 | 15.9 | 6.9 |
| 4.5 | 1.8 | 8.1 | 6.5 | 1.9 | 12.35 | 1.5 | 25.6 | 20.7 | 4.9 |
| 7 | 3 | 21 | 7.5 | 2.2 | 16.5 | 0.7 | 29.2 | 20.5 | 8.7 |
| 8 | 3.6 | 28.8 | 8 | 2.3 | 18.4 | 0.6 | 31.6 | 18.4 | 13.2 |
| 9 | 3.9 | 35.1 | 8 | 2.3 | 18.4 | 0.5 | 33.4 | 19.4 | 14 |
| 10.5 | 4.8 | 50.4 | 9 | 2.6 | 23.4 | 0.4 | 37.7 | 31.1 | 6.6 |

Figura 17

Gráfica Coeficiente de Rendimiento



Revisión elementos mecánicos

El elemento mecánico más importante que dispone este equipo es el intercambiador de calor, el cual permite disipar el calor generado en el módulo Peltier tanto del lado caliente como el del lado frío, así como también disipar el calor generado por el elemento calentador. Al realizar la inspección de este elemento mecánico no se encontraron problemas en el mismo por lo que se procedió a realizar la limpieza del mismo y a colocar pasta térmica en las dos caras del módulo Peltier y sobre el elemento calentador. Esto con el fin de que crear una mejor transferencia de calor al disipador y poder tomar mejor la temperatura tanto en el lado caliente como en el lado frío del equipo.

Otro de los elementos mecánicos que posee el equipo es el ventilador que de igual forma permite realizar la disipación del calor del módulo Peltier. Este elemento mecánico de igual forma se encontraba en buenas condiciones por lo que de igual forma se procedió a realizar la limpieza del mismo y comprobar nuevamente el funcionamiento luego de la intervención del equipo.

La carcasa del equipo se lo puede considerar como elemento mecánico. Este elemento también se encontraba en buenas condiciones y permitió realizar las nuevas adaptaciones de los elementos electrónicos por lo que se realizó solo la limpieza del mismo.

Revisión elementos eléctricos

Los elementos eléctricos más importantes que dispone este equipo son los transformadores que alimentan al módulo Peltier y al elemento calentador. Se dispone de un transformador para cada uno de los elementos antes mencionados. Al realizar la inspección de estos elementos se determinó que la corriente entregada por estos elementos no era la correcta puesto que no permitía el correcto funcionamiento de los elementos antes descritos, por lo que se procedió a realizar el cambio de los mismos por fuentes de poder, conservando los valores de voltaje y de corriente necesarios para el correcto funcionamiento de los elementos eléctricos. Se instalaron dos fuentes de poder de 12 V y 20 A.

Se realizó la revisión de todo el cableado eléctrico y se encontró que los cables que alimentaban al elemento calentador se encontraban en mal estado, esto debido al calor generado por el mismo. Se realizó el cambio de este cableado instalando un nuevo cable que pueda soportar altas temperaturas y de esta forma evitar que el recubrimiento del cable se quemara y pueda causar problemas en el funcionamiento del equipo.

Todo el cableado fue cambiado, esto con la finalidad de poder instalar todo el sistema de control de la máquina luego de la intervención.

El equipo cuenta con una luz indicadora de carga del módulo. Realizada la inspección del mismo se determinó que el mismo se encontraba fundido por lo que se procedió a realizar el cambio del mismo e instalar una nueva luz indicadora de carga.

Revisión elementos electrónicos.

Al realizar las pruebas del equipo previas a la intervención del mismo, se pudo determinar que los voltímetros y amperímetros instalados en el equipo estaban funcionando, pero se determinó que los valores mostrados diferían de la realidad. Esto se determinó comparando los valores mostrados en estos elementos y realizando la medición con un equipo digital para estos fines. No se realiza el cambio de estos elementos ya que servirán para una comparación con los valores obtenidos luego de la intervención. Esto aplica para el voltímetro y amperímetro tanto para el módulo, calentador y generador.

Se realizó la inspección del módulo Peltier y se terminó que estaba en buenas condiciones ya que generaba calor tanto en el lado caliente como en el lado frío del mismo, por lo que no fue necesario su cambio. Se implementó pasta térmica en las dos caras del elemento para lograr mejorar la conducción y disipación de calor al intercambiador de calor.

La misma inspección e intervención se la realizó al elemento calentador, siendo este una resistencia. Se encontró que estaba en buenas condiciones y realizando su desempeño normal, por lo que solo se realizó el cambio del cable a uno de altas temperaturas para evitar el deterioro del cable por las altas temperaturas que genera este elemento.

El interruptor principal del equipo se encontraba en buenas condiciones por lo que no fue necesario el cambio del mismo.

Se realizó la revisión del fusible del equipo que brinda protección al mismo y se determinó que estaba en buenas condiciones ya que el mismo entregaba continuidad por lo que no fue necesario el cambio del mismo.

Capítulo IV: Diseño e Implementación del Sistema de Adquisición de Datos

Las principales variables de interés para el correcto funcionamiento del equipo son de voltaje, corriente y temperatura.

Previo a la selección de componentes, se establece el número de entradas analógicas para la medición de las diferentes variables, así como también el número de entradas y salidas digitales, para lo cual se realiza el siguiente análisis.

Selección de la instrumentación

Para lograr una correcta selección de un instrumento, es importante conocer los datos tanto de entrada como de salida de los procesos o aplicación donde se desea instalar el equipo.

Generalmente el proceso de selección de la instrumentación no toma en cuenta algunas variables de interés muchas veces por la complejidad del proceso de medición, lo que puede redundar en una elevación de costos y un recambio de instrumentos.

Selección de instrumentos para medición de voltaje

La selección del sensor de voltaje para esta aplicación está determinada por los siguientes criterios:

- Rango de medición
- Voltaje de operación
- Tipo de corriente
- Tarjeta de adquisición de datos
- Costo

Tabla 6*Selección Sensor de voltaje*

| Parámetro | Sensor ZMPT101B | Sensor FZ0430 |
|----------------------|------------------------|----------------------|
| Tipo de Corriente | Alterna | Continua |
| Voltaje de operación | 5 VDC | 5 VDC |
| Rango de operación | 0 - 220 VAC | 0 – 25 VDC |
| Tarjeta Compatible | Arduino / Raspberry | Arduino / Raspberry |
| Costo | 8.00 USD | 5.00 USD |

Los valores de voltaje a medir dentro de este proyecto son voltajes en corriente continua y con un máximo de 5 VDC. El sensor FZ0430 cumple con estos requisitos y será el sensor a utilizarse para el desarrollo de este proyecto ya que su rango de operación es de hasta 25 VDC satisfaciendo las necesidades del proyecto y además funciona con la tarjeta de adquisición de datos a utilizarse.

Selección de instrumentos para medición de corriente.

La selección del sensor de corriente para esta aplicación está determinada por los siguientes criterios:

- Rango de medición
- Voltaje de operación
- Tipo de corriente
- Tarjeta de adquisición de datos
- Costo

Tabla 7*Selección Sensor de Corriente*

| Parámetro | Sensor Max471 | Sensor ACS712 |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| Tipo de Corriente | Alterna / Continua | Alterna / Continua |
| Voltaje de operación | 3 – 36 VDC | 5 VDC |
| Rango de operación | 0 – 3 A | 0 – 20 A |
| Tarjeta Compatible | Arduino / Raspberry | Arduino / Raspberry |
| Costo | 4.00 USD | 5.00 USD |

Los valores de corriente a medir dentro de este proyecto son voltajes en corriente continua y con un máximo de 15 A. El sensor ACS712 cumple con estos requisitos y será el sensor a utilizarse para el desarrollo de este proyecto ya que su rango de operación es de hasta 20 A satisfaciendo las necesidades del proyecto y además funciona con la tarjeta de adquisición de datos a utilizarse.

Selección de instrumentos para medición de temperatura

La selección del sensor de temperatura para esta aplicación está determinada por los siguientes criterios:

- Rango de medición
- Voltaje de operación
- Tarjeta de adquisición de datos
- Forma del sensor
- Tipo de salida
- Costo

Tabla 8*Selección sensor de temperatura*

| Parámetro | Sensor DS18B20 | Sensor NTC 10K | Sensor DHT11 |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Rango de medición | -55 a 125 °C | -40 a 120 °C | 0 a 50 °C |
| Voltaje de operación | 5 VDC | 5 VDC | 5 VDC |
| Tarjeta Compatible | Arduino | Arduino | Arduino |
| Forma del Sensor | Sonda | Sonda | Módulo |
| Tipo de Salida | Digital | Analógica | Digital |
| Costo | 5.00 USD | 5.00 USD | 5.00 USD |

Para la selección de este sensor se tuvo muy en cuenta la forma del sensor ya que era necesario tener un dispositivo con forma de sonda para poder insertar en los orificios del intercambiador de calor y poder obtener una mejor medición. Otro parámetro importante fue el tipo de salida del sensor ya que era necesario obtener un valor analógico para poder procesar el mismo con el software de programación. Habiendo analizado estos parámetros, el sensor que cumple con estos requisitos es el sensor NTC10K el mismo que cumple con las especificaciones antes mencionadas y cabe dentro del rango de temperatura deseada ya que los valores de temperatura a medir oscilan entre los -40 a 120 °C.

Selección de relays

La bomba termoeléctrica dispone de 2 reóstatos para controlar la variación de la potencia en sus elementos. Para realizar este control se instalará lo siguiente:

- Para el control de la variación de la resistencia del módulo Peltier se utilizará motor a pasos para controlar el número de pasos del motor, así como la dirección del mismo.

- Para el control de la variación de la resistencia del elemento calentador se utilizará motor a pasos para controlar el número de pasos del motor, así como la dirección del mismo.

Como parte de la intervención del equipo se realiza el cambio de los interruptores presentes en el equipo, por lo que es necesario la implementación de relays para la selección de la práctica. El detalle se especifica a continuación:

- Relay para conectores de la columna 1 del interruptor 1
- Relay para conectores de la columna 2 del interruptor 1
- Relay para conectores de la columna 3 del interruptor 1
- Relay para conectores de la columna 1 del interruptor 2
- Relay para conectores de la columna 2 del interruptor 2
- Relay para conectores de la columna 3 del interruptor 2
- Relay para conectores de la columna 4 del interruptor 2
- Relay para conectores de la columna 1 del interruptor 3
- Relay para conectores de la columna 2 del interruptor 3
- Relay para conectores de la columna 3 del interruptor 3
- Relay para conectores de la columna 4 del interruptor 3
- Relay para conectores de la columna 1 del interruptor 4
- Relay para conectores de la columna 2 del interruptor 4
- Relay para conectores de la columna 3 del interruptor 4

Adicional se instalará luces pilotos para indicar la práctica que se está realizando, las cuales son:

- Luz piloto "Normal" del interruptor 1
- Luz piloto "Seebeck" del interruptor 1

- Luz piloto “Peltier” del interruptor 2
- Luz piloto “Lenz” del interruptor 2
- Luz piloto “Normal” del interruptor 3
- Luz piloto “Generator” del interruptor 3
- Luz piloto “Off” del interruptor 4
- Luz piloto “On” del interruptor 4
- Luz piloto incremento de resistencia circuito del módulo
- Luz piloto decremento de resistencia circuito del módulo
- Luz piloto incremento de resistencia circuito del calentador
- Luz piloto decremento de resistencia circuito del calentador

Selección de motor a pasos

La selección del actuador motor a pasos para esta aplicación está determinada por los siguientes criterios:

- Torque
- Voltaje de operación
- Corriente de operación
- Costo

Tabla 9

Selección de Motor a pasos.

| Parámetro | Motor 28BYJ-48 | Motor Nema 17 | Motor Nema 23 |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Torque | 0.34 Nm | 0.2 – 1 Nm | 0.5 – 3 Nm |
| Voltaje de operación | 5 – 12 VDC | 12 – 24 VDC | 12 – 24 VDC |
| Corriente de operación | 55 mA | 1.5 – 1.8 A | 1.8 – 2.1 A |
| Costo | 6.00 USD | 15.00 USD | 25.00 USD |

Para la selección de este elemento, el parámetro fundamenta fue su torque, ya que debía satisfacer la necesidad de girar el reóstato tanto para el circuito del módulo como para el calentador. El torque necesario es de 1.2 Nm, por lo que la selección del motor Nema 23 era el necesario para cumplir con esta función.

Selección de display LCD.

La selección del display para esta aplicación está determinada por los siguientes criterios:

- Tamaño
- Tipo de conexión
- Costo

Tabla 10

Selección de Pantalla.

| Parámetro | LCD 1602 | LCD 2004 | LCD Oled 128x64 |
|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Tamaño | 2 filas con 16 caracteres cada una | 4 filas con 20 caracteres cada una | 0.96" |
| Tipo de Conexión | I2C | I2C | I2C |
| Costo | 8.00 USD | 12.00 USD | 8.00 USD |

Para la selección de este elemento se tomó en cuenta el parámetro del tamaño ya que se desea mostrar la mayor cantidad de valores posible. Por esta razón se utiliza el dispositivo LCD 2004 ya que permite mostrar una mayor cantidad de caracteres en su display y por ende poder mostrar más información relacionada a la práctica que se está realizando. Se utiliza el tipo de conexión I2C para disminuir el número de cables conectado a la tarjeta de adquisición de datos.

Diseño del control

Selección de la tarjeta de control.

La selección del controlador o tarjeta de adquisición de datos para esta aplicación está determinada por los siguientes criterios:

- Número de entradas digitales
- Número de entradas analógicas
- Número de salidas digitales
- Velocidad del procesador
- Costo

Tabla 11

Selección de la tarjeta de control

| Parámetro | Arduino Uno | Arduino Leonardo | Arduino Mega |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------|
| Número de entradas digitales | 14 | 12 | 54 |
| Número de entradas analógicas | 6 | 20 | 16 |
| Número de salidas digitales | 6 | 0 | 15 |
| Número de salidas analógicas | 0 | 7 | 0 |
| Velocidad del procesador | 16 MHz | 16 MHz | 16 MHz |
| Costo | 12.00 USD | 10.00 USD | 25.00 USD |

De las variables especificadas para el desarrollo de este proyecto, se determinó que es necesaria la utilización de 8 entradas analógicas y 28 salidas digitales. De la tabla anterior, se puede observar que ni el Arduino Uno ni el Arduino Leonardo cumple con los requisitos del

número de salidas digitales, por lo que se procede a utilizar el Arduino Mega 2560 como tarjeta de adquisición de datos ya que además cumple con el número de entradas analógicas necesarias y su costo está dentro del presupuesto inicial para el desarrollo del proyecto.

Selección de entradas y salidas de la tarjeta de control

Tabla 12

Pines de entrada y salida de la tarjeta de control:

| Entrada | Pin | Tipo | Nombre | Descripción | Observación |
|----------------|------------|-------------|---------------|---------------------------------|--|
| Digital | D27 | Salida | Relay 1A | Al activar cambia 1A de NA a NC | Interruptor 1 Columna 1 Interruptor NORMAL/SEEBECK |
| Digital | D28 | Salida | Relay 1B | Al activar cambia 1B de NA a NC | Interruptor 1 Columna 2 Interruptor NORMAL/SEEBECK |
| Digital | D29 | Salida | Relay 1C | Al activar cambia 1C de NA a NC | Interruptor 1 Columna 3 Interruptor NORMAL/SEEBECK |
| Digital | D23 | Salida | Relay 2A | Al activar cambia 2A de NA a NC | Interruptor 2 Columna 1 Interruptor PELTIER/LENZ |
| Digital | D24 | Salida | Relay 2B | Al activar cambia 2B de NA a NC | Interruptor 2 Columna 2 Interruptor PELTIER/LENZ |
| Digital | D25 | Salida | Relay 2C | Al activar cambia 2C de NA a NC | Interruptor 2 Columna 3 Interruptor PELTIER/LENZ |
| Digital | D26 | Salida | Relay 2D | Al activar cambia 2D de NA a NC | Interruptor 2 Columna 4 Interruptor PELTIER/LENZ |

| Entrada | Pin | Tipo | Nombre | Descripción | Observación |
|----------------|------------|-------------|------------------------|---|--|
| Digital | D17 | Salida | Relay 3A | Al activar cambia 3A de NA a NC | Interruptor 3 Columna 1 Interruptor NORMAL/GENERATOR |
| Digital | D18 | Salida | Relay 3B | Al activar cambia 3B de NA a NC | Interruptor 3 Columna 2 Interruptor NORMAL/GENERATOR |
| Digital | D19 | Salida | Relay 3C | Al activar cambia 3C de NA a NC | Interruptor 3 Columna 3 Interruptor NORMAL/GENERATOR |
| Digital | D22 | Salida | Relay 3D | Al activar cambia 3D de NA a NC | Interruptor 3 Columna 4 Interruptor NORMAL/GENERATOR |
| Digital | D14 | Salida | Relay 4A | Al activar cambia 4A de NA a NC | Interruptor 4 Columna 1 Interruptor OFF/ON |
| Digital | D15 | Salida | Relay 4B | Al activar cambia 4B de NA a NC | Interruptor 4 Columna 2 Interruptor OFF/ON |
| Digital | D16 | Salida | Relay 4C | Al activar cambia 4C de NA a NC | Interruptor 4 Columna 3 Interruptor OFF/ON |
| Digital | D20 | Salida | SDA Pantalla LCD | Envía datos a LCD | |
| Digital | D21 | Salida | SCL Pantalla LCD | Envía datos a LCD | |
| Digital | D32 | Salida | Int 4 | Al activar cambia encendido luz de OFF a ON | Interruptor 4 OFF/ON |

| Entrada | Pin | Tipo | Nombre | Descripción | Observación |
|---------|-----|--------|----------|--|-----------------------------------|
| Digital | D33 | Salida | Int 3 | Al activar cambia encendido luz de NORMAL a GENERATOR | Interruptor 3 NORMAL/GENERATOR |
| Digital | D34 | Salida | Int 2 | Al activar cambia encendido luz de NORMAL a SEEBECK | Interruptor 2 PELTIER/LENZ |
| Digital | D35 | Salida | Int 1 | Al activar cambia encendido luz de NORMAL a SEEBECK | Interruptor 1 NORMAL/SEEBECK |
| Digital | D43 | Salida | DIR+ Cal | Dirección + Motor a Pasos Circuito Calentador | |
| Digital | D44 | Salida | ENA+ Cal | Enable + Motor a Pasos Circuito Calentador (No se utiliza) | |
| Digital | D45 | Salida | PUL+ Mod | Pulso + Motor a Pasos Circuito Módulo | |
| Digital | D46 | Salida | DIR+ Mod | Dirección + Motor a Pasos Circuito Módulo | |
| Digital | D47 | Salida | ENA+ Mod | Enable + Motor a Pasos Circuito Módulo (No se utiliza) | |

| Entrada | Pin | Tipo | Nombre | Descripción | Observación |
|----------------|------------|-------------|---------------|---------------------------------------|--------------------|
| Analógico | A2 | Entrada | VG | Dato valor de voltaje Generador | |
| Analógico | A3 | Entrada | VM | Dato valor de voltaje Módulo | |
| Analógico | A4 | Entrada | IC | Dato valor de corriente Calentador | |
| Analógico | A5 | Entrada | IG | Dato valor de corriente Generador | |
| Analógico | A6 | Entrada | IM | Dato valor de corriente Módulo | |
| Analógico | A7 | Entrada | TH | Dato valor de temperatura lado H | |
| Analógico | A8 | Entrada | TC | Dato valor de temperatura lado C | |

Programación de la tarjeta de control.

El algoritmo de control y adquisición de datos para el Arduino Mega 2560 se lo realizó con la utilización del software LabVIEW y su librería Linx. LabVIEW es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico pensado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido. Linx es un proyecto de código abierto de Digilent y está diseñado para facilitar el desarrollo de aplicaciones embebidas usando LabVIEW.

Control de motores a pasos

El control de los motores a pasos se encarga de aumentar o disminuir la resistencia en el circuito del módulo o del circuito del calentador respectivamente, haciendo que la potencia suministrada a dichos elementos sea menor o mayor.

Para realizar esto, dentro de la programación está configurado para que el usuario a través de la interfaz humano – maquina pueda enviar pulsos digitales a los motores para establecer el sentido de giro y la cantidad de pasos para que pueda aumentar o disminuir la resistencia en los circuitos. Esto se lo hizo con la utilización de la programación visual gráfica brindado por LabVIEW. La programación se la puede observar en los anexos de este documento.

Adquisición de datos de los sensores de voltaje, corriente y temperatura.

El sistema de adquisición de datos en este equipo debe ser muy preciso por lo cual se emplearon los sensores previamente mencionados. Una parte importante del sistema de adquisición de datos es el acondicionamiento de las señales, puesto que de esto depende que los valores mostrados sean reales y con un margen de error pequeño.

Para realizar el acondicionamiento de las señales mediante la programación visual gráfico, se implementaron las ecuaciones necesarias para obtener los resultados tanto de voltaje, amperaje y temperatura.

Voltaje Para la medición de valores de voltaje, fue necesario la aplicación de un divisor de tensión conformado por dos resistores uno de 7.5K y uno de 30K, con el cual podremos ser capaces de reducir el voltaje medido en una razón de 0.2 y por lo tanto se podrá medir un voltaje máximo de 25 VDC. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$V_o = V_i \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$V_o = \text{Voltaje entregado por el sensor}$

$V_i = \text{Voltaje de alimentación del sensor}$

$R_1 = \text{Resistencia 1}$

$R_2 = \text{Resistencia 2}$

Corriente Para la medición de valores de corriente, internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético surgido de el paso de la corriente por un alambre de cobre interno y convirtiendo este campo en un voltaje variable. Esto significa que a mayor cantidad de corriente que tengamos, mayor voltaje vamos a tener en un pin. el sensor nos entrega un valor de 2.5 V para una corriente de 0A y a partir de allí incrementa proporcionalmente de acuerdo a la sensibilidad, teniendo una relación lineal entre la salida de voltaje del sensor y la corriente. Dicha relación es una línea recta en una gráfica Voltaje vs Corriente donde la pendiente es la sensibilidad y la intersección en el eje Y es 2.5 voltios. La ecuación de la recta sería la siguiente

$$V_o = mI + 2.5$$

$V_o = \text{Voltaje entregado por el sensor}$

$m = \text{pendiente y equivale a la sensibilidad del sensor}$

$I = \text{corriente}$

Despejando tendremos

$$I = \frac{V_o - 2.5}{\text{sensibilidad}}$$

Despejando tendremos obteniendo la fórmula para el cálculo de la corriente.

Temperatura Para la medición de la temperatura utilizando el termistor NTC 10K, donde la resistencia del termistor disminuye cuando la temperatura aumenta y sabiendo que este elemento es un elemento no lineal, se debe utilizar la ecuación de Steinhart – Hart para obtener el valor de la temperatura, la cual es la siguiente:

$$T_K = \frac{1}{A + B \ln(R) + C (\ln(R))^3}$$

$T_K =$ temperatura en grados Kelvin

$A =$ constante tabulada

$B =$ constante tabulada

$C =$ constante tabulada

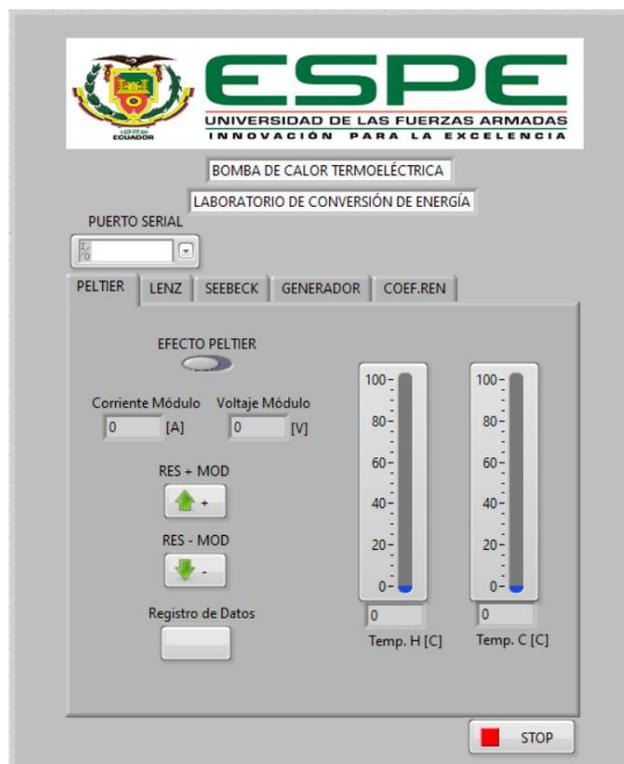
Diseño de Interfaz Gráfica

El diseño de la interfaz gráfica se la realizó con la finalidad de que el usuario pueda visualizar los valores obtenidos del equipo, así como también poder controlar al mismo desde la interfaz de ususario.

Cada una de las prácticas tiene su propia pestaña desde la cual podrá enviar los controles al equipo y poder obtener la información respectiva a cada práctica. A continuación, se muestran las diferentes interfaces con su explicación.

Interfaz Efecto Peltier

La siguiente figura muestra la interfaz gráfica para el desarrollo de la práctica del Efecto Peltier.

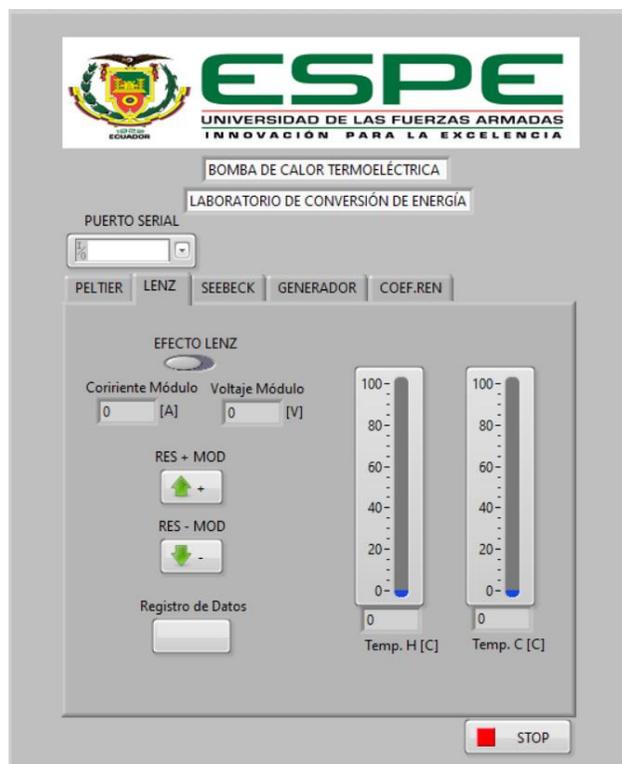
Figura 18*Interfaz Gráfica Efecto Peltier*

Esta interfaz nos permite obtener los valores de corriente en el circuito del módulo, así como también su voltaje dentro del mismo circuito. Es posible también visualizar de manera gráfica la temperatura para el lado caliente y lado frío del Módulo Peltier, así como también su valor numérico.

Desde la misma interfaz gráfica, es posible realizar el control de la resistencia perteneciente al circuito del módulo. Esto se logra seleccionando si se desea aumentar o reducir la potencia suministrada al módulo.

Interfaz Efecto Lenz

La siguiente figura muestra la interfaz gráfica para el desarrollo de la práctica del Efecto Lenz.

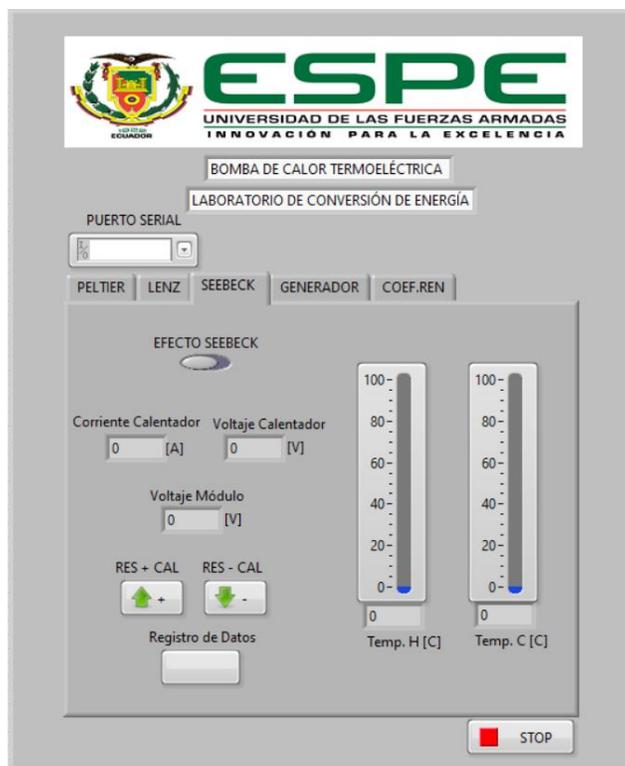
Figura 19*Interfaz Gráfica Efecto Lenz*

Esta interfaz nos permite obtener los valores de corriente en el circuito del módulo, así como también su voltaje dentro del mismo circuito. Es posible también visualizar de manera gráfica la temperatura para el lado caliente y lado frío del Módulo Peltier, así como también su valor numérico.

Desde la misma interfaz gráfica, es posible realizar el control de la resistencia perteneciente al circuito del módulo. Esto se logra seleccionando si se desea aumentar o reducir la potencia suministrada al módulo.

Interfaz Efecto Seebeck

La siguiente figura muestra la interfaz gráfica para el desarrollo de la práctica del Efecto Seebeck.

Figura 20*Interfaz Gráfica Efecto Seebeck*

Esta interfaz nos permite obtener los valores de corriente en el circuito del calentador, así como también su voltaje dentro del mismo circuito. Es posible también visualizar de manera gráfica la temperatura para el lado caliente y lado frío del Módulo Peltier, así como también su valor numérico.

También permite obtener los valores del voltaje del módulo ya que el mismo representa a la f.e.m. Seebeck, valor necesario para la realización de esta práctica.

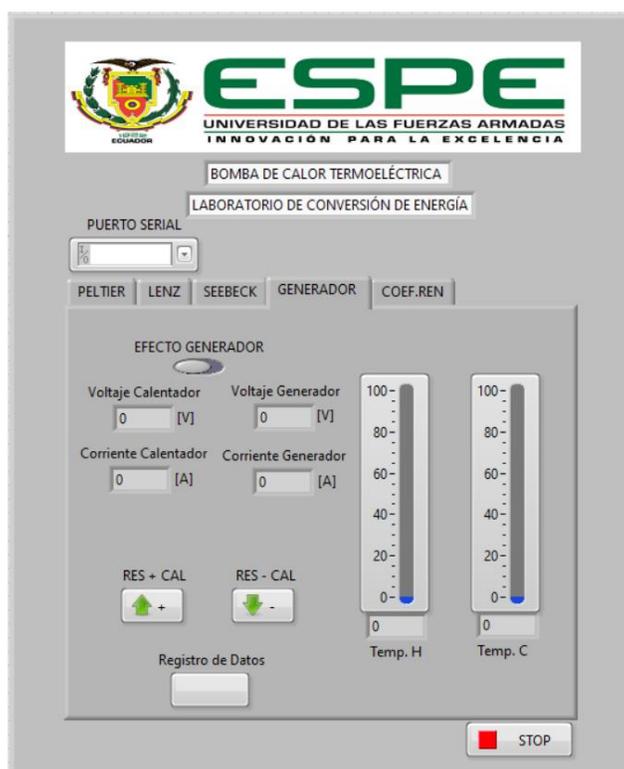
Desde la misma interfaz gráfica, es posible realizar el control de la resistencia perteneciente el circuito del calentador. Esto se logra seleccionando si se desea aumentar o reducir la potencia suministrada al módulo.

Interfaz Efecto Generador

La siguiente figura muestra la interfaz gráfica para el desarrollo de la práctica del Efecto Generador.

Figura 21

Interfaz Gráfica Efecto Generador



Esta interfaz nos permite obtener los valores de corriente en el circuito del calentador, así como también su voltaje dentro del mismo circuito. Es posible también visualizar de manera gráfica la temperatura para el lado caliente y lado frío del Módulo Peltier, así como también su valor numérico.

También permite obtener los valores del voltaje y corriente perteneciente al circuito del módulo ya que estos valores representan a los valores generados por el módulo Peltier al momento de realizar esta práctica.

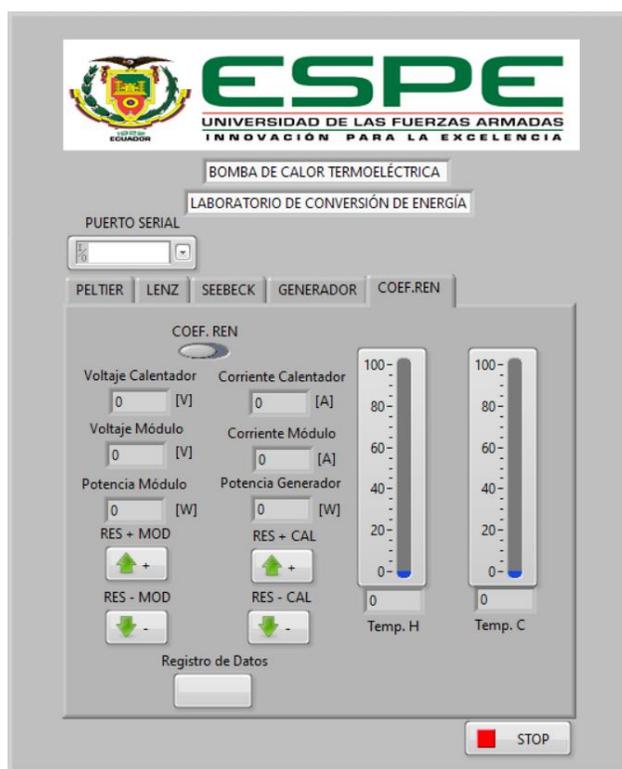
Desde la misma interfaz gráfica, es posible realizar el control de la resistencia perteneciente el circuito del calentador. Esto se logra seleccionando si se desea aumentar o reducir la potencia suministrada al módulo.

Interfaz Coeficiente de Rendimiento

La siguiente figura muestra la interfaz gráfica para el desarrollo de la práctica del Coeficiente de Rendimiento.

Figura 22

Interfaz Gráfica Coeficiente de Rendimiento



Esta interfaz nos permite obtener los valores de corriente y voltaje en el circuito del calentador, así como también el voltaje y la corriente del circuito del calentador. Es posible también visualizar de manera gráfica la temperatura para el lado caliente y lado frío del Módulo Peltier, así como también su valor numérico.

También permite visualizar los valores de la potencia entregada tanto al circuito del módulo como al circuito del calentador, valores necesarios para realizar esta práctica.

Desde la misma interfaz gráfica, es posible realizar el control de la resistencia perteneciente tanto al circuito del calentador como al circuito del módulo. Esto se logra seleccionando si se desea aumentar o reducir la potencia suministrada al módulo.

Ensamble del sistema eléctrico, electrónico y control

La implementación del sistema de adquisición de datos comprende de varias etapas en las cuales se intervino a la bomba de calor termoeléctrica para que tanto su parte eléctrica, instrumentación, sistema de control y adquisición de datos funcione correctamente. Es decir, se intervino tanto el sistema eléctrico y de control del equipo como se lo detalla a continuación.

Rediseño del Panel Frontal

Antes de la intervención del equipo, para seleccionar la práctica a realizarse se debía colocar a cada uno de los interruptores en una posición específica de manera manual. Para esto se disponía de 4 interruptores como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 23

Interruptores del equipo previo a la intervención



Para realizar la automatización de la selección de la práctica se debió desmontar estos interruptores, quedando estos espacios vacíos y sin tener claridad la configuración en la que se encuentra el equipo para realizar la práctica. Para esto, se realizó nuevas perforaciones en el panel frontal para su posterior instalación de indicadores luminosos dando a conocer de esta forma al usuario la configuración en la que se encuentra el equipo. Esta intervención se la puede observar en la siguiente figura.

Figura 24

Instalación de indicadores luminosos LED reemplazo de interruptores



La variación de la potencia suministrada a los circuitos del módulo y del calentador antes de la intervención se lo realizaba variando la resistencia a través de reóstatos montados en la parte frontal del equipo como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 25

Reóstatos controlados manualmente



Para realizar la intervención del equipo se reubicó a estos reóstatos en una caja exterior al equipo como se podrá observar más adelante, y una vez realizado el desmontaje de estos elementos de igual forma se tenía estos espacios vacíos en la parte frontal dando una mala imagen al equipo. Para poder cubrir estos espacios, se realizaron nuevas perforaciones y se instaló indicadores luminosos en estos espacios, los cuales se iluminarán cuando la resistencia suba o baje según manipulación de operario y según el experimento a realizarse.

Figura 26

Instalación de indicadores luminosos LED reemplazo de reóstatos



Para tener una mejor visualización de los datos de voltaje, amperaje y temperatura según la práctica que se esté realizando, se implementó una pantalla LCD de tamaño 20x4, donde se podrá visualizar estos datos mencionados anteriormente además de poder visualizarlos en los elementos de medición montados en el equipo antes de la intervención.

Figura 27

Instalación de pantalla LCD 20X04



El rediseño del panel frontal se lo realizó utilizando el panel frontal perteneciente al equipo, es decir únicamente se lo modificó para ubicar los nuevos elementos de visualización y eliminar los previamente usados. Para esto se realizaron varias perforaciones y cortes en el panel frontal de la bomba de calor termoeléctrica.

Como parte también del panel frontal, se realizó la instalación de los termistores para obtener la temperatura en los lados caliente y frío del conjunto del módulo Peltier como se puede observar en la siguiente figura. Previo a la intervención esta medida se la tomaba utilizando termómetros.

Figura 28

Instalación de sensores de temperatura

**Rediseño del sistema eléctrico**

Para lograr la automatización de la bomba de calor termoeléctrica fue necesario realizar el cambio de todo el cableado existente en el equipo, ya que el cableado existente previo a la intervención no permitía realizar la automatización del equipo. El cableado previo a la intervención se lo puede observar en la siguiente figura.

Figura 29

Cableado del equipo existente de fábrica



El nuevo cableado instalado en el equipo para su repotenciación fue realizado bajo las especificaciones del fabricante el mismo que mencionaba que los cables a utilizarse debe ser de 1.5 mm^2 . La siguiente figura muestra el nuevo cableado que sirve tanto para la parte eléctrica como electrónica del equipo.

Figura 30

Instalación cableada del equipo posterior a intervención



El equipo dispone de los siguientes actuadores para su funcionamiento. Un módulo Peltier instalado en el intercambiador de calor en la parte frontal del equipo, el mismo que se encuentra conectado mediante cables de calibre 16 AWG a los demás elementos del equipo. En la siguiente tabla se muestran los datos de dicho módulo

Tabla 13

Especificaciones Módulo Peltier

| Módulo Peltier | |
|-----------------------|------------|
| Voltaje | 0 - 12 VDC |
| Corriente | 0 - 20 A |

No se encontraron problemas en el funcionamiento de este elemento al momento de la inspección previa

Un elemento calentador instalado en el intercambiador de calor en la parte frontal del equipo, el mismo que se encuentra conectado mediante cables de calibre 16 AWG a los demás elementos del equipo. En la siguiente tabla se muestran los datos de dicho módulo.

Tabla 14

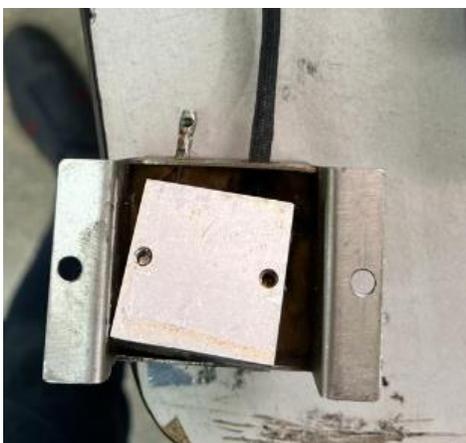
Especificaciones Elemento Calentador

| Elemento Calentador | |
|----------------------------|------------|
| Voltaje | 0 - 12 VDC |
| Corriente | 0 - 20 A |

Al momento de realizar la inspección previa a la intervención, se detectó que los cables que alimentan al elemento calentador se encontraba en mal estado como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 31

Estado elemento calentador



Se realizó el cambio de este cable por cable de alta temperatura el mismo que permitirá una mejor conducción y evitará quemaduras en los extremos del elemento calentador.

Análisis eléctrico del sistema de adquisición de datos

El equipo en su sistema electrónico diseñado empleará elementos para el sistema de adquisición de datos, por lo tanto, estos elementos deben tomarse en cuenta para el dimensionamiento de los conductores y protecciones del sistema eléctrico.

Arduino Mega 2560

Tabla 15

Especificaciones Arduino Mega 2560

| Arduino Mega 2560 | |
|---------------------------|-------|
| Voltaje de entrada | 5 VDC |
| Consumo Eléctrico | 50 mA |

Se utilizará 1 Arduino Mega 2560 por lo que el consumo para sensores de voltaje es de 50 mA.

Sensor de Voltaje FZ0430

Tabla 16

Especificaciones Sensores de Voltaje FZ0430

| Sensor de Voltaje FZ0430 | |
|---------------------------------|--------|
| Voltaje de entrada | 5 VDC |
| Consumo Eléctrico | 700 uA |

Se utilizarán 3 sensores de voltaje por lo que el consumo para sensores de voltaje es de 2.1 mA.

Sensores de Corriente ACS712

Tabla 17

Especificaciones Sensor de Corriente ACS712

| Sensor de Corriente ACS712 | |
|-----------------------------------|-------|
| Voltaje de entrada | 5 VDC |
| Consumo Eléctrico | 10 mA |

Se utilizarán 3 sensores de corriente por lo que el consumo para sensores de corriente es de 30 mA.

Sensores de Temperatura NTC 10K

Tabla 18

Especificaciones Sensor de Temperatura NTC 10K

| Sensor de Temperatura NTC 10K | |
|--|-------|
| Voltaje de entrada | 5 VDC |
| Consumo Eléctrico | 25 mA |

Se utilizarán 2 sensores de temperatura por lo que el consumo para sensores de temperatura es de 50 mA.

Bloque de relés de 8 bobinas

Tabla 19

Especificaciones bloque de relés

| Bloque de relés | |
|---|-------|
| Voltaje de entrada | 5 VDC |
| Consumo Eléctrico por bobina | 90 mA |

Se utilizarán 3 bloques de 8 bobinas cada uno por lo que el consumo para los bloques de relés es de 2.16 A.

Pantalla LCD 20X4

Tabla 20

Especificaciones pantalla LCD 20X04

| Pantalla LCD | |
|---------------------------|-------|
| Voltaje de entrada | 5 VDC |
| Consumo Eléctrico | 2 mA |

Se utilizarán una pantalla LCD por lo que el consumo para la pantalla LCD es de 2 mA.

Controlador para motor a pasos TB6600

Tabla 21

Especificaciones controlador TB6600

| TB6600 | |
|---------------------------|------------|
| Voltaje de entrada | 9 - 42 VDC |
| Consumo Eléctrico | 5 A |

Se utilizarán 2 controladores TB 6600 por lo que el consumo para los controladores de los motores a pasos es de 10 A.

Dimensionamiento de la fuente de corriente continua

En base a los valores de estos elementos se dimensionará la fuente de corriente directa que será utilizada para alimentar a los mismos, una para los elementos alimentados por 5 VDC y otra fuente para alimentar a 12VDC.

Para la fuente de corriente continua de 5 VDC se tienen los siguientes valores

Tabla 22

Consumo de corriente para elementos de 5VDC.

| Componente | Número de Elementos | Corriente Nominal | Total |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------|
| Arduino Mega 2560 | 1 | 0.05 A | 0.05 A |
| Sensor de Voltaje | 3 | 0.007 A | 0.021 A |
| Sensor de Corriente | 3 | 0.01 A | 0.03 A |

| Componente | Número de Elementos | Corriente Nominal | Total |
|-------------------|----------------------------|--------------------------|----------------|
| Bobinas Relés | 24 | 0.09 A | 2.16 A |
| Pantalla LCD | 1 | 0.02 A | 0.02 A |
| | | TOTAL | 2.331 A |

Teniendo estos valores de corriente, la fuente de poder a utilizarse será una que brinde los 5 VDC necesarios con un amperaje de 10 A.

Para la fuente de corriente continua de 12 VDC se tienen los siguientes valores.

Tabla 23

Consumo de corriente para elementos de 12 VDC.

| Componente | Número de Elementos | Corriente Nominal | Total |
|--------------------|----------------------------|--------------------------|---------------|
| Controlador TB6600 | 2 | 5.0 A | 10.0 A |
| | | TOTAL | 10.0 A |

Teniendo estos valores de corriente, la fuente de poder a utilizarse será una que brinde los 12 VDC necesarios con un amperaje de 5 A. En este caso se utilizará 2 fuentes con estas características, una para cada módulo controlador.

Dimensionamiento del interruptor termomagnético

Conocido los valores del consumo eléctrico de las fuentes de poder necesarias para el correcto funcionamiento de la parte electrónica para la adquisición de datos, se procedió a

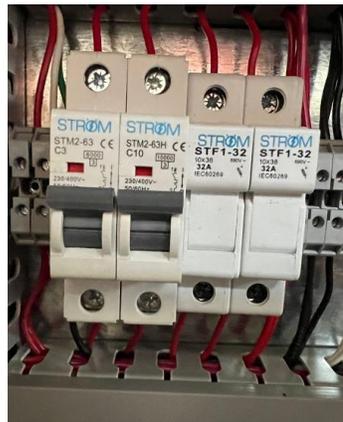
seleccionar e instalar un interruptor termomagnético para la fuente de poder de 5 VDC y uno para las 2 fuentes de poder de 12 VDC, cada uno con su respectivo fusible.

Para la fuente de poder de 5 VDC se instaló un interruptor de 3 A, ya que con este valor supe las necesidades del consumo de esta fuente de poder.

Para la fuente de poder de 12 VDC se instaló un interruptor de 10 A, ya que con este valor supe las necesidades del consumo de esta fuente de poder.

Figura 32

Instalación interruptores térmicos



Construcción del sistema electrónico y de control

En la construcción del nuevo sistema electrónico y de control se emplearon todos los componentes analizados, seleccionados y dimensionados con anterioridad. Para esto, fue necesario la instalación de un nuevo gabinete en donde se podrá instalar todos los elementos mencionados.

La siguiente figura muestra el tablero en donde será instalado todo el sistema de la repotenciación del equipo de laboratorio.

Figura 33

Gabinete metálico para control



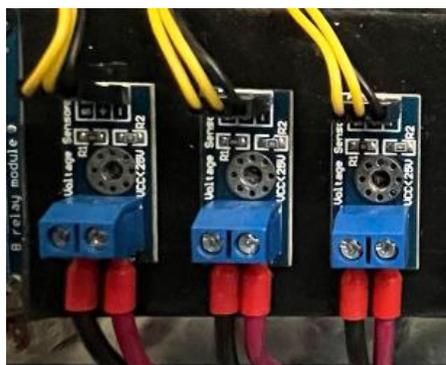
Nota La figura muestra el gabinete metálico a utilizarse para el control del equipo. Tomado de Inselec. (s,f). *Gabinete liviano 600x400x200*. <https://inselec.com.ec/store/inicio/1669-gabinete-liviano-600x400x200-ref-i-0306-.html>

Conexión sensores de voltaje

Para realizar la medición de voltaje en los circuitos del módulo, de elemento calentador y del circuito del generador, se procedió a realizar una conexión en paralelo a los voltímetros instalados en el panel frontal del equipo, una conexión para cada uno de los circuitos con la utilización del sensor de voltaje. Los sensores de voltaje fueron instalados en el tablero de control del equipo como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 34

Instalación de sensores de voltaje en tablero



Conexión sensores de corriente

Para realizar la medición de corriente en los circuitos del módulo, de elemento calentador y del circuito del generador, se procedió a realizar una conexión en serie a los amperímetros instalados en el panel frontal del equipo, una conexión para cada uno de los circuitos con la utilización del sensor de corriente. Los sensores de voltaje fueron instalados en el tablero de control del equipo como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 35

Instalación de sensores de corriente en tablero



Conexión bloque de relés

Se realizó el reemplazo de cada uno de los interruptores que existían en el equipo previo a la intervención con la utilización de bloques de relés, cada bloque con 8 bobinas las cuales disponen de dos estados, normalmente abierto y normalmente cerrado cambiando su estado cuando estos se activan. Los bloques de relés utilizados se pueden observar en la siguiente figura.

Figura 36

Instalación de bloques de relé en tablero



Para el reemplazo del interruptor 1 del equipo, para seleccionar "Normal" o "Seebeck", fue necesario la utilización de 3 bobinas ya que el interruptor existente disponía de 9 pines, indicando 3 estados para normalmente abierto y 3 para normalmente cerrado.

Para el reemplazo del interruptor 2 del equipo, para seleccionar "Peltier" o "Lenz", fue necesario la utilización de 4 bobinas ya que el interruptor existente disponía de 16 pines, indicando 4 estados para normalmente abierto y 4 para normalmente cerrado.

Para el reemplazo del interruptor 3 del equipo, para seleccionar "Normal" o "Generator", fue necesario la utilización de 4 bobinas ya que el interruptor existente disponía de 16 pines, indicando 4 estados para normalmente abierto y 4 para normalmente cerrado.

Para el reemplazo del interruptor 4 del equipo, para seleccionar "Off" o "On", fue necesario la utilización de 3 bobinas ya que el interruptor existente disponía de 9 pines, indicando 3 estados para normalmente abierto y 3 para normalmente cerrado.

Para el encendido de las luces pilotos indicadora para cada uno de los interruptores, fue necesario la implementación de 8 bobinas:

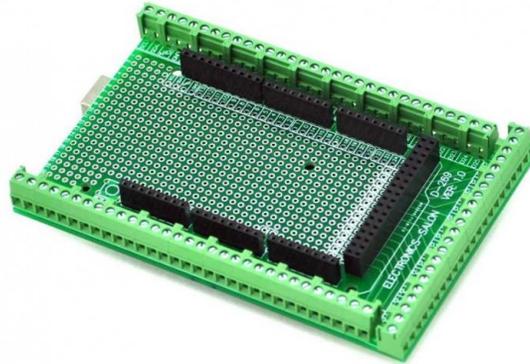
- Una para encender el indicador de “Normal” en su estado normalmente cerrado y cambiando su estado a normalmente abierto, encenderá el indicador de “Seebeck” del interruptor 1.
- Una para encender el indicador de “Peltier” en su estado normalmente cerrado y cambiando su estado a normalmente abierto, encenderá el indicador de “Lenz” del interruptor 2.
- Una para encender el indicador de “Normal” en su estado normalmente cerrado y cambiando su estado a normalmente abierto, encenderá el indicador de “Generator” del interruptor 3.
- Una para encender el indicador de “Off” en su estado normalmente cerrado y cambiando su estado a normalmente abierto, encenderá el indicador de “On” del interruptor 4.
- Una para encender el indicador de subir resistencia en el circuito del módulo al cambiar su estado de normal abierto a normalmente cerrado.
- Una para encender el indicador de bajar resistencia en el circuito del módulo al cambiar su estado de normal abierto a normalmente cerrado.
- Una para encender el indicador de subir resistencia en el circuito del calentador al cambiar su estado de normal abierto a normalmente cerrado.
- Una para encender el indicador de bajar resistencia en el circuito del calentador al cambiar su estado de normal abierto a normalmente cerrado.

Conexión tarjeta de adquisición de datos

La conexión de la tarjeta de adquisición de datos se logró hacerlo con la utilización de un shield que sirve para acoplar a la tarjeta de control Arduino Mega 2560 utilizada. Este shield se lo puede visualizar en la siguiente figura.

Figura 37

Shield para Arduino Mega 2560



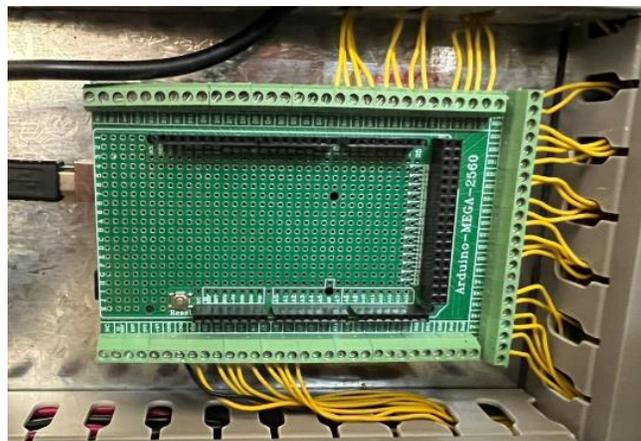
Nota La figura muestra el Shield de Arduino Mega a utilizarse. Tomado de Megatrónica Robótica y Electrónica. (s,f). *Mega 2560 Shield para Arduino.*

<https://megatronica.cc/producto/mega2560-shield-para-arduino/>

La tarjeta junto con su shield fue colocada directamente en el tablero de control y realizado todas las conexiones necesarias. En la siguiente figura se puede observar la tarjeta ya implementada.

Figura 38

Instalación Arduino Mega 2560 y Shield en tablero



Conexión controlador TB6600

Para el control de los motores a pasos Nema 23 a utilizarse para el desarrollo de las prácticas fue necesario la utilización de dos controladores TB6600, un controlador para cada uno de los motores a pasos, uno para el control de la resistencia del circuito del módulo y uno para el circuito del elemento calentador. La instalación de estos elementos se los puede observar en la siguiente figura.

Figura 39

Instalación controladores TB6600 para motores a pasos



Conexión fuentes de poder circuito del módulo y circuito del calentador

Como ya fue explicado en capítulos anteriores, fue necesario realizar el cambio de los transformadores existentes en el equipo por fuentes de poder de las mismas características. Una vez realizada las mediciones de los valores de corriente y de voltaje que entregaban los transformadores, se determinó que los valores necesarios son los siguientes.

Tabla 24

Especificaciones de fuentes de poder del circuito del módulo y circuito del calentador.

| | Circuito del Módulo | Circuito del Calentador |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Voltaje | 12 VDC | 12 VDC |
| Amperaje | 20 A | 20 A |
| Potencia | 240 W | 240 W |
| Alimentación | 120 VAC | 120 VAC |

La instalación de estos componentes se los puede observar en la siguiente figura.

Figura 40

Instalación fuentes de poder para circuitos del módulo y circuito del calentador



Conexión de reóstatos y motores a pasos

Puesto que era necesario la reubicación de los reóstatos que controla la potencia entregada al circuito del módulo y al circuito del calentador respectivamente, fue necesario la fabricación de una caja metálica en donde se puedan instalar dichos elementos y junto a ellos

realizar la conexión de los motores a pasos que controlaran dicha función. Esta caja está ubicada al costado del equipo principal. Esto se lo puede observar en la siguiente figura.

Figura 41

Instalación de reóstatos y motores a pasos



El movimiento del motor a pasos será trasladado a los reóstatos a través de bocines que garantizan el movimiento del motor a pasos sobre el reóstato dependiendo del circuito a utilizarse. Esta conexión se lo puede observar en la siguiente figura.

Figura 42

Instalación de bocines entre motores a pasos y reóstatos



Capítulo V: Intervención, pruebas y resultados

Intervención del Equipo

Realizada la primera inspección de la Bomba de Calor Termoeléctrica se encontraron los siguientes problemas para el correcto funcionamiento de la misma.

El primer problema fue la dificultad que existía para medir temperatura tanto del lado caliente como del lado frío en el módulo Peltier, siendo esto lo más importante ya que en esto se basa los diferentes experimentos a realizarse en este equipo. Para realizar las pruebas previas a la intervención del equipo se utilizó un termómetro digital externo proveído en el Laboratorio para obtener estas mediciones.

Una vez solventado el inconveniente para la toma de datos de temperatura, se encontraron problemas en los reóstatos que controlan el amperaje tanto en el circuito del módulo como en el circuito del calentador. Estos reóstatos disponen de un carbón que permite la variación de la resistencia en el mismo y de esta forma variar la potencia de los circuitos antes mencionados. Estos carbones no estaban disponibles en estos elementos y para hacer las pruebas previas a la intervención, se utilizaron carbones utilizados en las herramientas eléctricas para tratar de suplir a los originales. Esto causaba mucha variación en los valores de la potencia del equipo, haciendo que las temperaturas varíen frecuentemente y sean valores no acordes a los especificados por el fabricante. Luego de realizar el acople temporal de los carbones, se pudieron obtener los valores de los diferentes experimentos para lograr conocer el estado previo a la intervención del equipo.

Los resultados de los diferentes experimentos realizados se los puede visualizar en los capítulos respectivos en este documento.

La configuración del equipo para la realización de los diferentes experimentos se los realizaba de manera manual con la utilización de interruptores para seleccionar entre Normal-

Seebeck, Peltier-Lenz, Normal-Generador y Off-On según el experimento a realizarse, la potencia se hacía con la variación de la resistencia del reóstato de manera manual. La toma de datos de voltajes, amperajes y temperatura según corresponda, se los realizaba de manera visual en los medidores analógicos presentes en el equipo.

La finalidad de esta tesis es realizar la Repotenciación, Calibración, Mantenimiento e Implementación de un Sistema de Adquisición de datos para la puesta a punto de la Bomba Termoeléctrica.

Para lograr esta finalidad, se realizaron los siguientes cambios.

Con respecto a la toma de temperatura en el lado caliente y frío del módulo, se utilizará el módulo DS18B20 que permite obtener temperaturas en un rango de -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$. Los termómetros especificados por el fabricante tienen un rango de -50°C a $+30^{\circ}\text{C}$ para el lado frío y un rango de -10°C a $+110^{\circ}\text{C}$ por lo que el módulo a utilizarse cumple satisfactoriamente con las necesidades.

Para la obtención de los valores de corriente en los diferentes circuitos de manera digital y mostrada en la interfaz, se utiliza el módulo ACS712. Esta gama de sensores ofrece diferentes rangos de medición. Para este caso se utiliza 2 en el rango de -20 A a 20 A para la medición de corriente en los circuitos del módulo y calentador ya que el valor máximo a medir en estos circuitos son 15 A , y uno en el rango de -5 A a 5 A que servirá para medir la corriente en el circuito del generador ya que la corriente máxima a medir en este circuito son 250 mA .

Para la obtención de los valores de voltaje en los diferentes circuitos de manera digital y mostrada en la interfaz, se utiliza el módulo FZ0430. Este módulo permite la medición de voltaje de hasta 25 V en corriente continua. Los valores máximos de voltaje a medir en los circuitos del módulo y calentador son de 5 V , y en el circuito del generador es de 1.5 V , por lo que el módulo a utilizar cumple con las necesidades.

Previo a la intervención del equipo, existía 4 interruptores de 2 posiciones que podían trabajar en un rango de voltaje de 110 a 200 V y una corriente permitida máxima de 10 A, que permitía la configuración del equipo según la práctica a realizar. Cada interruptor contaba con 16 puntos de conexión, es decir 4 puntos de conexión comunes con sus respectivos 4 puntos para la posición 1 y 4 para la posición 2. Estos interruptores fueron reemplazados por 3 módulos de 8 relays cada uno que trabajan en un rango de voltaje de 110 a 200 V y una corriente permitida máxima de 10 A, con lo cual se solventa la necesidad de todos los interruptores a reemplazarse. Los puntos de conexión sobrantes de estos módulos servirán para el encendido de luces para dar a conocer al usuario la posición del antiguo interruptor.

Para poder realizar el reemplazo de interruptores por relays, se realizó el cambio de todo el cableado del equipo, respetando el calibre del cable especificado por el fabricante (AWG 16).

Todos los módulos antes mencionados y especificados van a ser comandados por la tarjeta de control Arduino Mega.

Se implementó una pantalla LCD 20X4 para mostrar los valores de voltaje, amperaje y temperatura según el experimento a realizarse.

Se instalaron 2 fuentes de poder de 12 V – 5 A, cada una de ellas alimenta a cada uno de los módulos TB6600 que realizan el control de los motores a paso Nema 23. Una fuente para cada módulo. Estas dos fuentes de poder cuentan con su interruptor de corriente y su fusible de protección. El encendido de las fuentes de poder se lo realiza desde el interruptor instalado en la puerta del gabinete de control respectivo. Cuenta con su luz piloto indicadora de encendido.

Se instaló una fuente de poder de 5V – 10 A para alimentar a todos los módulos de adquisición de datos (3 módulos para medir voltaje, 3 módulos para medir amperaje, 2 módulos

para medir temperatura, 3 bloques de 8 relays cada uno), la pantalla LCD para mostrar los valores y alimentar al controlador Arduino. Esta fuente de poder cuenta con su interruptor de corriente y su fusible de protección. El encendido de la fuente de poder se lo realiza desde el interruptor instalado en la puerta del gabinete de control respectivo. Cuenta con su luz piloto indicadora de encendido.

Se instaló luces piloto para indicar cuando sube o baja la resistencia del reóstato, tanto del lado del módulo como del calentador, cuando estos son manipulados desde la interfaz por el usuario.

Se mantienen los voltímetros y amperímetros analógicos instalados por el fabricante para tener una comparación entre los valores obtenidos de manera digital y analógica.

Tabulación de resultados

En las siguientes tablas se muestran los valores obtenidos luego de la intervención del equipo

Efecto Peltier

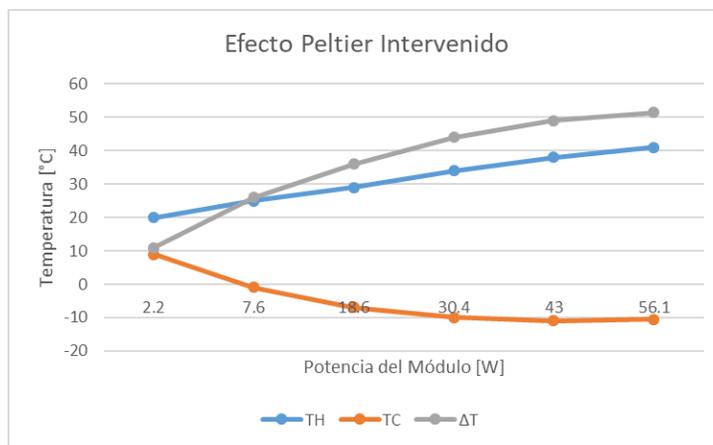
Tabla 25

Valores obtenidos de la práctica Efecto Peltier posterior a la intervención

| Corriente Módulo [A] | Voltaje [V] | Potencia [W] | TH [°C] | TC [°C] | ΔT |
|-------------------------|----------------|-----------------|---------|---------|------------|
| 2 | 1.1 | 2.2 | 20 | 9 | 11 |
| 4 | 1.9 | 7.6 | 25 | -1 | 26 |
| 6 | 3.1 | 18.6 | 29 | -7 | 36 |
| 8 | 3.8 | 30.4 | 34 | -10 | 44 |
| 10 | 4.3 | 43 | 38 | -11 | 49 |
| 11 | 5.1 | 56.1 | 41 | -10.5 | 51.5 |

Figura 43

Gráfica Efecto Peltier posterior a la intervención



Efecto Thomson o Lenz

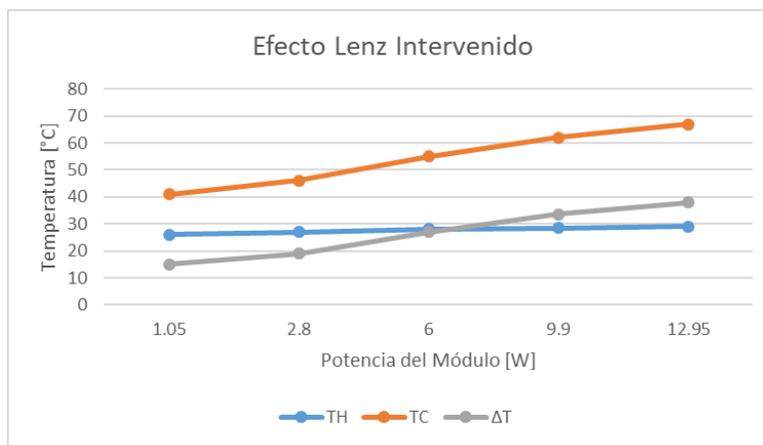
Tabla 26

Valores obtenidos de la práctica Efecto Lenz posterior a la intervención

| Corriente Módulo [A] | Voltaje [V] | Potencia [W] | TH [°C] | TC [°C] | ΔT |
|----------------------|-------------|--------------|---------|---------|-------|
| 1.5 | 0.7 | 1.05 | 26 | 41 | -15 |
| 2 | 1.4 | 2.8 | 27 | 46 | -19 |
| 2.5 | 2.4 | 6 | 28 | 55 | -27 |
| 3 | 3.3 | 9.9 | 28.5 | 62 | -33.5 |
| 3.5 | 3.7 | 12.95 | 29 | 67 | -38 |

Figura 44

Gráfica Efecto Lenz posterior a la intervención



Efecto Seebeck

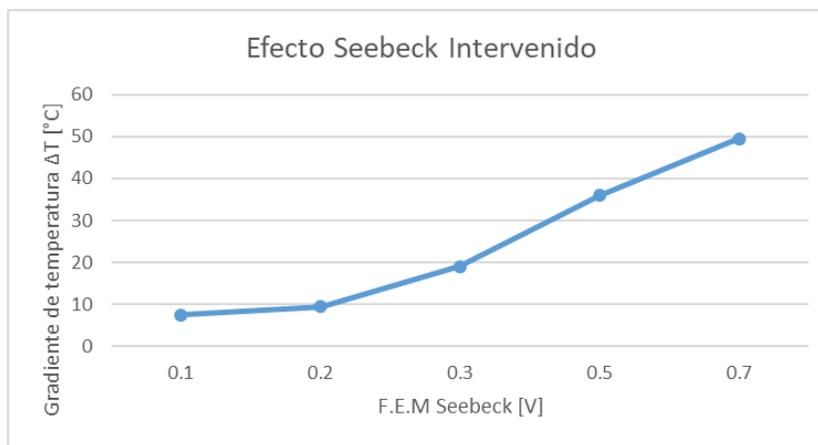
Tabla 27

Valores obtenidos de la práctica Efecto Seebeck posterior a la intervención

| Corriente Calentador [A] | Voltaje [V] | TH [°C] | TC [°C] | ΔT | f.e.m |
|--------------------------|-------------|---------|---------|-------|-------|
| 3.7 | 1 | 24.5 | 32 | -7.5 | 0.1 |
| 4.8 | 1.5 | 27.5 | 37 | -9.5 | 0.2 |
| 5.1 | 2 | 29 | 48 | -19 | 0.3 |
| 7.4 | 2.5 | 31 | 67 | -36 | 0.5 |
| 8.1 | 3 | 32.5 | 82 | -49.5 | 0.7 |

Figura 45

Gráfica Efecto Seebeck posterior a la intervención



Efecto Generador

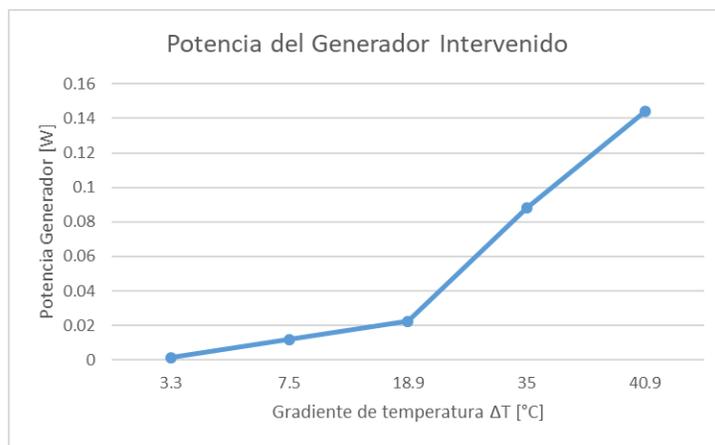
Tabla 28

Valores obtenidos de la práctica Efecto Lenz posterior a la intervención

| Voltaje Calentador [V] | Amperaje Calentador [A] | TH [°C] | TC [°C] | ΔT | Voltaje [V] | Amperaje [A] | Potencia [W] |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 3.8 | 27 | 22 | 5 | 0.03 | 0.05 | 0.0015 |
| 1.5 | 4.7 | 29 | 44 | -15 | 0.1 | 0.12 | 0.012 |
| 2 | 5.1 | 30 | 49 | -19 | 0.15 | 0.15 | 0.0225 |
| 2.5 | 7.3 | 32 | 87 | -55 | 0.4 | 0.22 | 0.088 |
| 2.8 | 8.1 | 35 | 98 | -63 | 0.6 | 0.24 | 0.144 |

Figura 46

Gráfica Efecto Generador posterior a la intervención



Coeficiente de Rendimiento

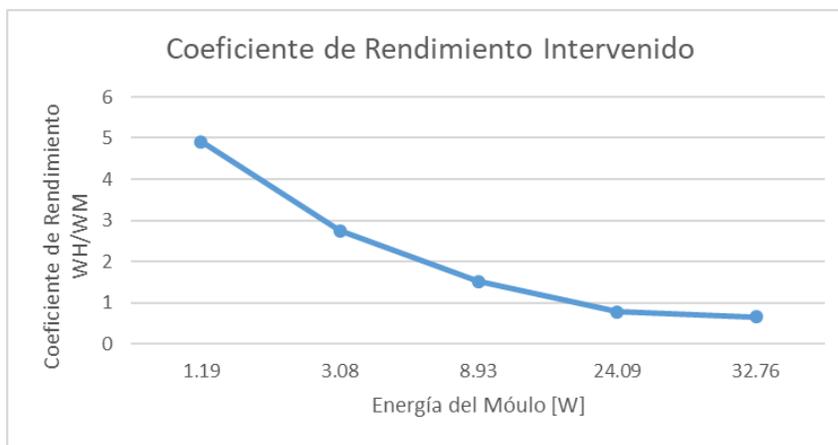
Tabla 29

Valores obtenidos de la práctica Efecto Lenz posterior a la intervención

| Voltaje Módulo [V] | Amperaje Módulo [A] | Potencia Módulo [W] | Voltaje Calentador [V] | Amperaje Calentador [A] | Potencia Calentado r [W] | Coef de Ren d | TH [°C] | TC [°C] | ΔT |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------|------------|------------|
| 1.7 | 0.7 | 1.19 | 4.5 | 1.3 | 5.85 | 4.91 | 26 | 21 | 5 |
| 2.8 | 1.1 | 3.08 | 5 | 1.7 | 8.5 | 2.75 | 27 | 23 | 4 |
| 4.7 | 1.9 | 8.93 | 6.5 | 2.1 | 13.65 | 1.52 | 30 | 22 | 8 |
| 7.3 | 3.3 | 24.09 | 7.5 | 2.5 | 18.75 | 0.77 | 32 | 22 | 10 |
| 8.4 | 3.9 | 32.76 | 8 | 2.7 | 21.6 | 0.65 | 37 | 23 | 14 |
| 1.7 | 0.7 | 1.19 | 4.5 | 1.3 | 5.85 | 4.91 | 26 | 21 | 5 |
| 2.8 | 1.1 | 3.08 | 5 | 1.7 | 8.5 | 2.75 | 27 | 23 | 4 |

Figura 47

Gráfica Coeficiente de Rendimiento posterior a la intervención



Análisis de resultados y validación

Efecto Peltier

Figura 48

Gráfica Efecto Peltier previa intervención

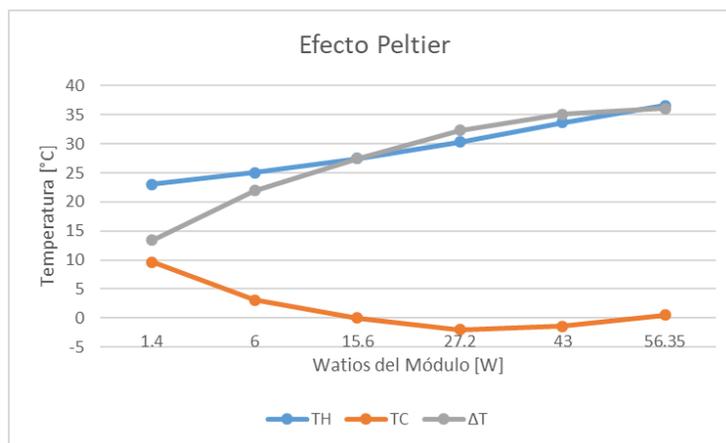


Figura 49

Gráfica Efecto Peltier posterior a la intervención

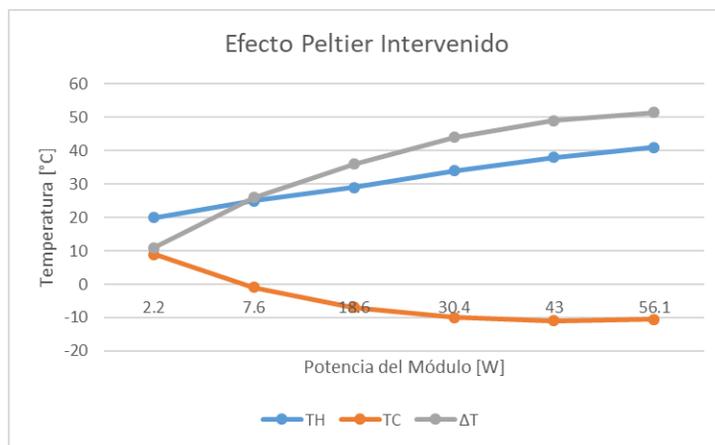
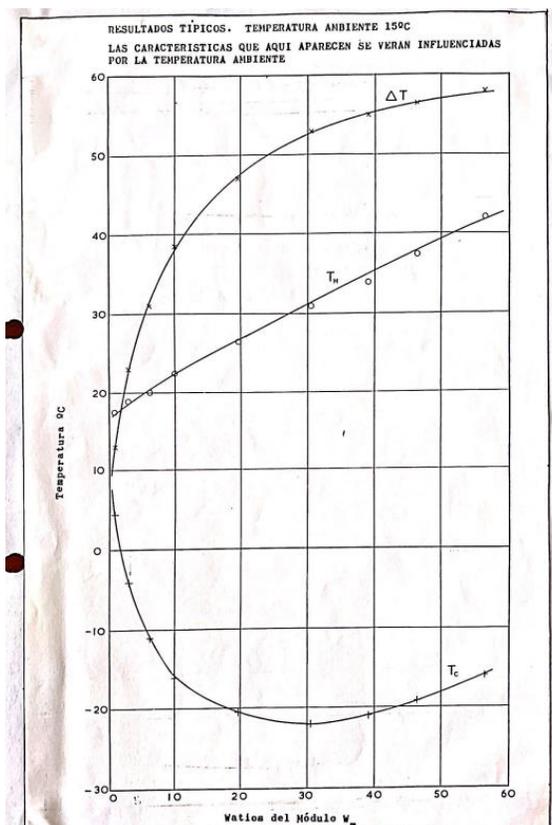


Figura 50

Gráfica Característica Efecto Peltier



Según las gráficas se puede apreciar como la tendencia de las figuras 49 y 50 tienen una tendencia similar a la curva de validación, la misma que viene en el manual, se debe considerar que las condiciones en las que la curva usada como validación fue levantada en condiciones tanto ambientales como geográficas distintas a las del sitio de experimentación es decir en el laboratorio de conversión de energía, los datos expuestos en las tablas de cada figura demuestran que existe una tendencia más cercana en la curva cuando el equipo ya se intervino, lo que representa que se pudo eliminar el llamado error de paralaje o apreciación.

Efecto Lenz

Figura 51

Gráfica Efecto Lenz previa intervención

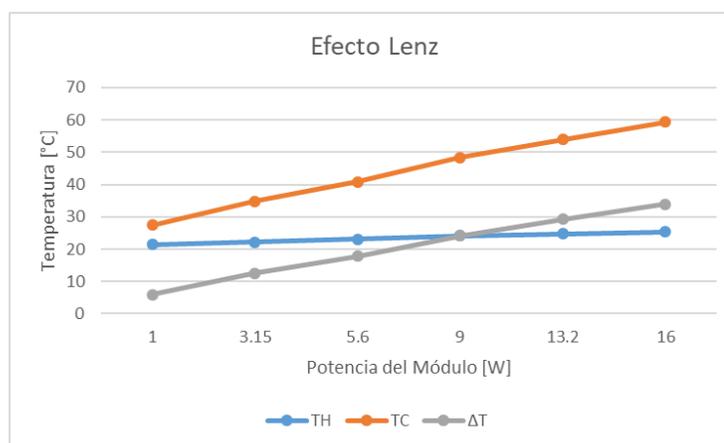


Figura 52

Gráfica Efecto Lenz posterior a la intervención

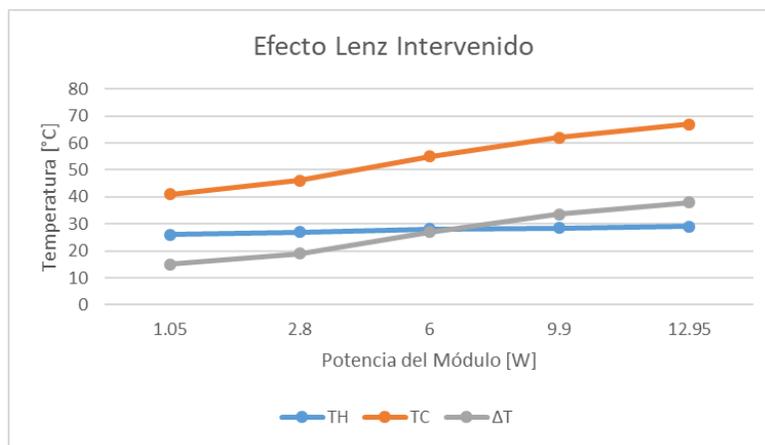
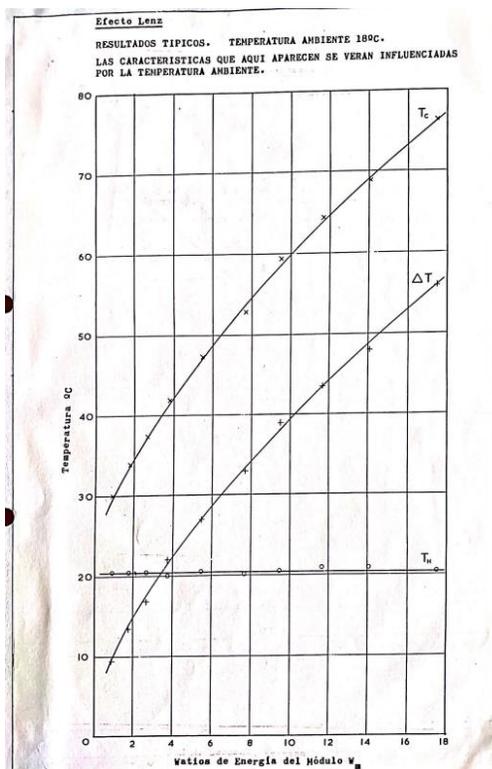


Figura 53

Gráfica Característica Efecto Lenz



En las gráficas 52 y 53 se observa que la tendencia de las mismas con referencia a la curva de validación difieren, pero existe una tendencia similar entre ellas, esto se debe a que las condiciones de uso del equipo al tomar las medidas eran discordantes entre sí, e igual que en el efecto anterior la curva de validación fue realizada en condiciones de laboratorio a nivel del mar y con patrones de medida muy definidos.

Efecto Seebeck

Figura 54

Gráfica Efecto Seebeck previa intervención

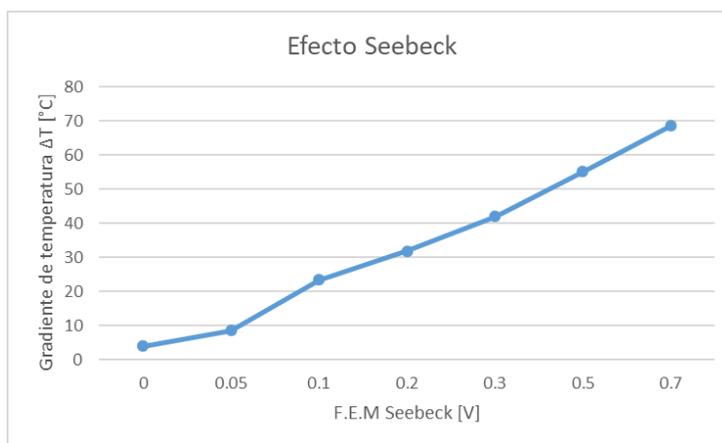
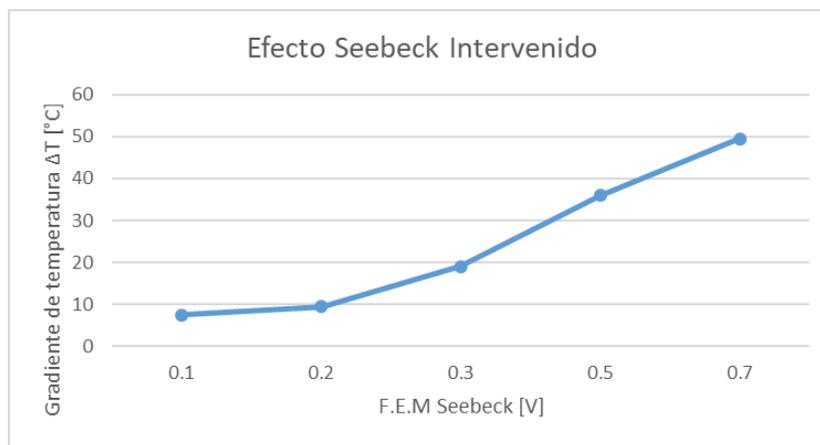
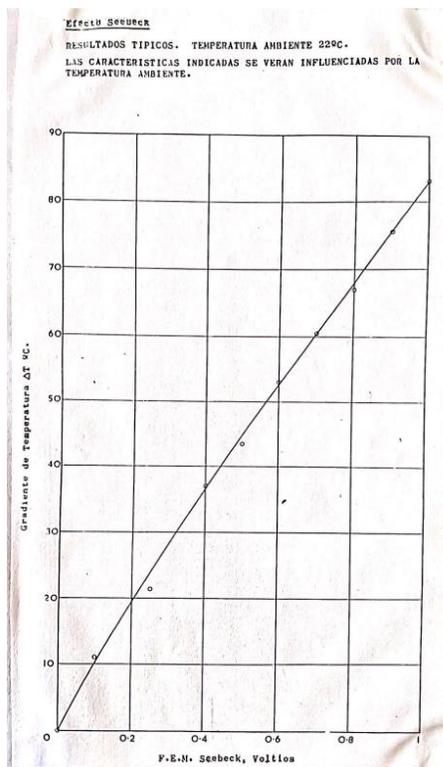


Figura 55

Gráfica Efecto Seebeck posterior a la intervención

**Figura 56**

Gráfica Característica Efecto Seebeck



Al ser la practica netamente observativa ya que se basa en el levantamiento de curvas enfrentando parámetros propios del equipo, se puede observar una tendencia lineal, misma que concuerda con la tendencia de la curva de validación.

Efecto Generador

Figura 57

Gráfica Efecto Generador previa intervención

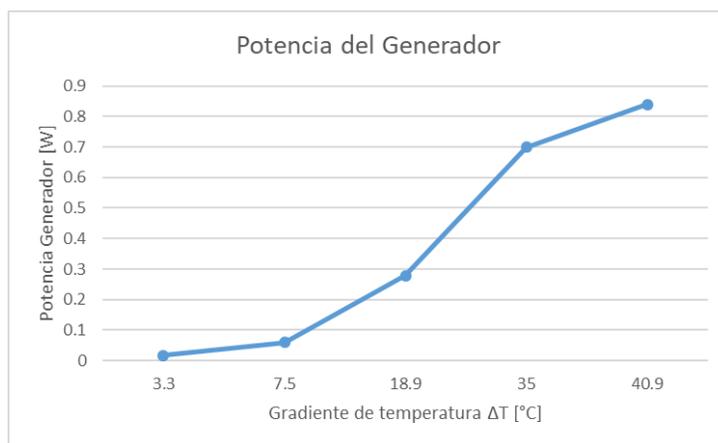


Figura 58

Gráfica Efecto Generador posterior a la intervención

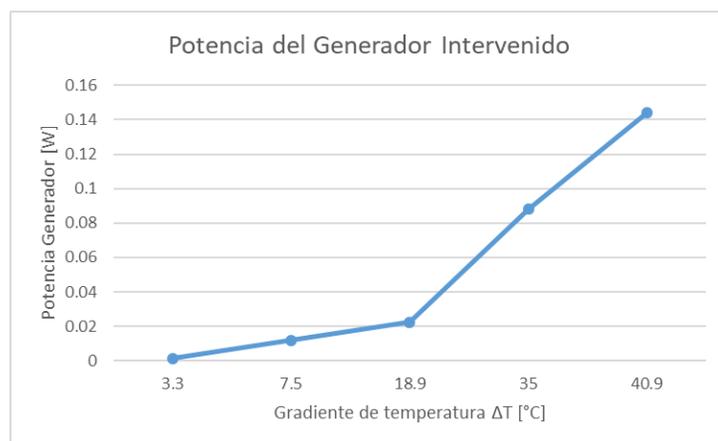
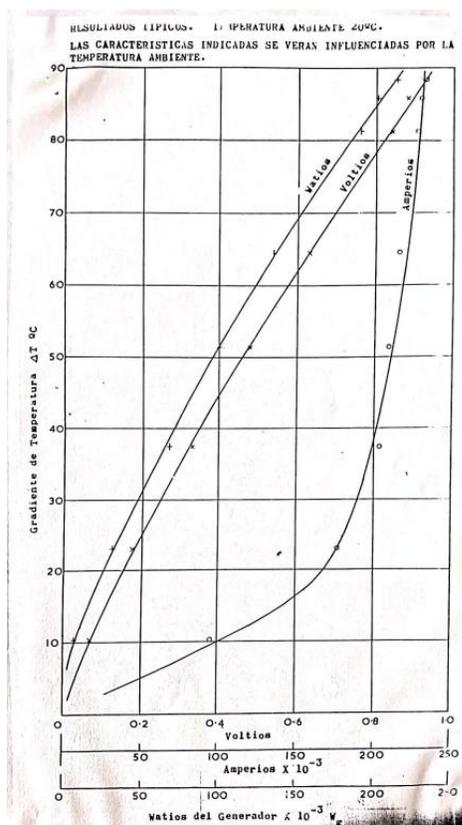


Figura 59

Gráfica Característica Efecto Generador



En las gráficas correspondientes tanto al estado anterior como al estado intervenido del equipo, se observa una tendencia diferente a la curva de validación, pero similar entre sí, se deduce que aquí también prima en alto grado las condiciones en las que fue levantada la información para la obtención de los diferentes parámetros en el laboratorio HILTON Ltd.

Coeficiente de Rendimiento

Figura 60

Gráfica Coeficiente de Rendimiento previa intervención

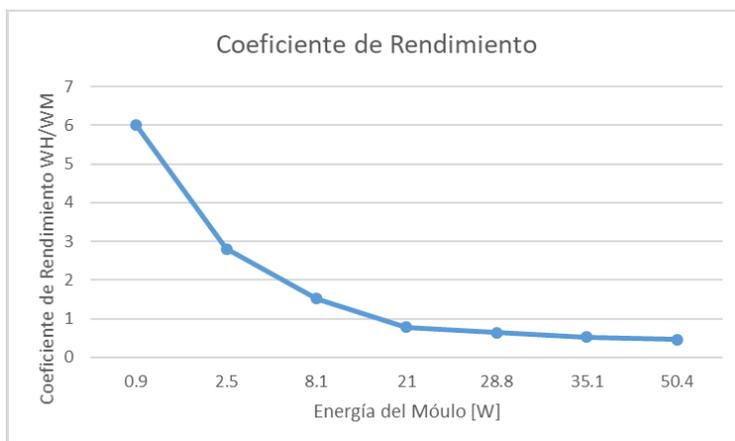


Figura 61

Gráfica Coeficiente de Rendimiento posterior a la intervención

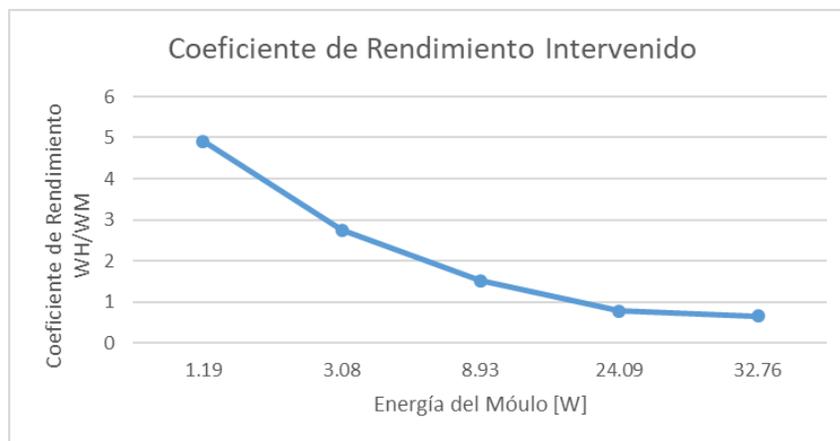
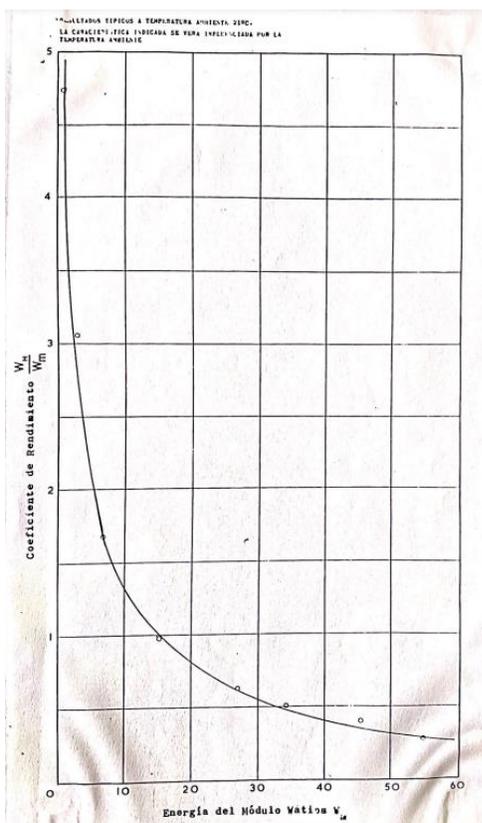


Figura 62

Gráfica Característica Coeficiente de Rendimiento



En estos gráficos tanto en las curvas levantadas en el presente proyecto, como la entregada por el fabricante de la bomba, se puede observar que tiene tendencias similares, esto se debe a que el coeficiente de Rendimiento es un parámetro propio del equipo.

Es importante acotar que la validación se la realizó con las curvas entregadas por el fabricante y a mas de la validación sirvieron como una fuente de datos para la validación de las curvas anteriores.

Capítulo VI: Análisis Económico

Una vez terminado el proyecto el presupuesto se destinó en su mayoría al sistema electrónico, y el tablero eléctrico, dado que gran parte de los equipos empleados y los de mayor costo dentro del prototipo han sido facilitados por el laboratorio.

Tabla 30

Presupuesto Materiales y Equipos

| Elementos | Cantidad | Costo Unitario (\$) | Tipo de Financiación | Costo a Pagar (\$) |
|----------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Caja Metálica Sistema de Control | 1 | \$60.00 | Propia | \$60.00 |
| Tarjeta de Control | 1 | \$25.00 | Propia | \$25.00 |
| Cable eléctrico AWG #16 (m) | 150 | \$0.30 | Propia | \$45.00 |
| Borneras | 30 | \$1.00 | Propia | \$30.00 |
| Canaletas para cables (6m) | 1 | \$5.00 | Propia | \$5.00 |
| Sensores de Temperatura | 2 | \$10.00 | Propia | \$20.00 |
| Sensores de Voltaje | 3 | \$5.00 | Propia | \$15.00 |
| Sensores de Corriente | 3 | \$5.00 | Propia | \$15.00 |
| Relays | 3 | \$10.00 | Propia | \$30.00 |
| Pantalla LCD | 1 | \$15.00 | Propia | \$15.00 |
| Bocín conector | 1 | \$25.00 | Propia | \$25.00 |
| Motores a Pasos | 2 | \$25.00 | Propia | \$50.00 |
| Luces Piloto | 12 | \$1.50 | Propia | \$18.00 |
| Caja Metálica Reóstatos | 1 | \$50.00 | Propia | \$25.00 |
| Controlador Motores | 2 | \$25.00 | Propia | \$50.00 |
| Reóstatos | 2 | \$50.00 | Propia | \$100.00 |
| Interruptores | 2 | \$5.00 | Propia | \$10.00 |
| | | | TOTAL | \$538.00 |

Tabla 31*Presupuesto Uso de servicios*

| Elementos | Cantidad | Costo Unitario (\$) | Tipo de Financiación | Costo a Pagar (\$) |
|-------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Energía Eléctrica | 1 | \$20.00 | Propia | \$20.00 |
| Impresiones | 1 | \$15.00 | Propia | \$15.00 |
| Transporte | 1 | \$30.00 | Propia | \$30.00 |
| Internet | 1 | \$25.00 | Propia | \$25.00 |
| Computadores | 1 | \$25.00 | Propia | \$25.00 |
| | | | TOTAL | \$115.00 |

Tabla 32*Presupuesto de Mano de Obra (relativo)*

| Personal | Cantidad | Costo Unitario (\$) | Tipo de Financiación | Costo a Pagar (\$) |
|-----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Graduando | 200 | \$5.00 | Propia | \$1,000.00 |
| Tutor | 100 | \$15.00 | Propia | \$1,500.00 |
| Asesorías | 10 | \$5.00 | Propia | \$50.00 |
| | | | TOTAL | \$2,550.00 |

Revisando las tablas 29 y 30 se puede demostrar que el valor a costear por parte del estudiante además del 10% de imprevistos no superará los \$750.00 dólares americanos, no se considera como un costo directo la tabla de mano de obra ya que es propia del graduando y al tutor solo es un valor referencial ya que se hace uso del tiempo estipulado por la universidad.

Conclusiones

Se realizó la repotenciación, calibración, mantenimiento e implementación del sistema de adquisición de datos y se puso a punto la Bomba Termoeléctrica

Se realizó el mantenimiento correctivo y predictivo de los elementos y partes de la Bomba de Calor Termoeléctrica

Se rehabilitó los sistemas eléctricos, electrónicos y mecánicos de la Bomba de Calor Termoeléctrica

Se realizó el diseño e implementación de las conexiones eléctricas, electrónicas y mecánicas necesarias para el proceso de automatización necesarias garantizando la seguridad del equipo y del operario.

En las pruebas realizadas se puede observar que los datos tomados analógicamente se desvían un porcentaje mínimo con los evaluados y validados por medio de las curvas de calibración del manual, esto se debe a los errores de medición que se puede cometer entre ellos los de paralaje.

Se puede observar que una vez implementado el sistema automático de adquisición de datos desaparece el llamado error de paralaje, ya que la toma se vuelve digital, acercándose más a la realidad y a las curvas de calibración del manual

En el análisis de resultados se puede observar las gráficas contrapuestas de cada uno de los experimentos en donde se verifica que con la intervención realizada en el equipo las curvas tienen una tendencia mucho más parecida a las curvas de calibración presentadas en el manual.

No se puede llegar a una tendencia exacta a las de las curvas del manual ya que las mismas fueron realizadas con parámetros ambientales diferentes a los existentes en el valle de los chillos, lo que influye en la realización de los experimentos.

Recomendaciones

Es importante realizar el mantenimiento predictivo de los sistemas de control y adquisición de datos para que cuando se realicen los experimentos, los datos sean confiable ya que dentro del laboratorio existen factores externos que pueden influir en el equipo.

Se recomienda realizar las prácticas de experimentación siempre con la dirección de un profesor o laboratorista capacitado por el riesgo de electrocución.

Bibliografía

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (25 de septiembre de 2017). *La energía y el cambio climático*. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-y-el-cambio-climatico>
- Anasi, C. (16 de mayo de 2021). *Microlab - IoT*. Obtenido de Sensor de corriente Acs712 con Arduino: <https://microlab.ec/blog/sensor-de-corriente-ac712-con-arduino/>
- Arrieta, V. (25 de enero de 2019). *Arca Electrónica*. Obtenido de Sensor de Voltaje FZ0430 con Arduino: <https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/sensor-de-voltaje-fz0430-con-arduino>
- Çengel, Y. A., & Boles, M. (2015). *Termodinámica*. Mc Graw Hill.
- Del Valle Hernández, L. (s.f.). *Programar Facil*. Obtenido de Relé con Arduino y ESP8266 para crear una lámpara inteligente: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/rele-con-arduino-lampara/>
- EcuadorVerifica. (04 de 08 de 2021). *Un grado menos del aire acondicionado representa 10% más en la planilla eléctrica*. Obtenido de <https://ecuadorverifica.org/2021/08/04/un-grado-menos-del-aire-acondicionado-representa-10-mas-en-la-planilla-electrica/>
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (s.f.). El Efecto Termoeléctrico. *Equipos y Laboratorio de Colombia*. Obtenido de El Efecto Termoeléctrico: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/el-efecto-termoelEctrico>
- ESPE, U. d. (2021). *Guía de Laboratorio*. Sangolquí.
- Fierro Leverone, L. F. (2013). *Diseño y Construcción de un banco de pruebas para un sistema de bomba de calor mecánica de 1hp de capacidad, que usa refrigerante r-404a, con*

aplicación en un horno para secado de materia organica, para el laboratorio de conversión de energía del DECEM. Sangolquí.

France24. (18 de noviembre de 2021). *¿Cómo enfrenta el mundo la actual crisis energética?*

Obtenido de <https://www.france24.com/es/programas/el-debate/20211118-crisis-energia-carbon-combustible-fosil-electricidad>

Gallardo Ocampo, A. A., & Riofrío Andrade, J. E. (2010). *Factibilidad Técnica y Económica para el desarrollo de una instalación termoeléctrica de 160 kw mediante la combustión de biogás para la hacienda Tarragona. Sangolquí.*

Geek Factory. (25 de agosto de 2017). *Motor a pasos tutorial introductorio.* Obtenido de

<https://www.geekfactory.mx/tutoriales/motor-a-pasos-tutorial-introductorio/>

Inselec. (s.f.). *Gabinete Liviano 600x400x200.* Obtenido de

<https://inselec.com.ec/store/inicio/1669-gabinete-liviano-600x400x200-ref-i-0306-.html>

Lasluiza Navarrete, J. (2016). *Diseño e instalación de los sistemas de alimentación de:*

combustible, aceite, vapor, aire, agua, montaje y puesta en operación de una unidad

Termoeléctrica de 1.9 MW. En la central de Guangopolo TermoPichincha. Sangolquí.

Megatrónica Robótica y Electrónica. (s.f.). *Mega2560 Shield Para Arduino.* Obtenido de

<https://megatronica.cc/producto/mega2560-shield-para-arduino/>

Naylamp Mechatronics. (s.f.). *Tutorial Sensor de Corriente ACS712.* Obtenido de

https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html

Patterson , G., & Sobral, M. (2007). *Efecto Peltier.*

Salamarkesa. (s.f.). *¿Qué es un termopar? Definición, funcionamiento y utilidad.* Obtenido de

<https://www.salamarkesa.com/termopar-que-es-termogenerador-funcionamiento-uso/>

Sentera Controls. (s.f.). *Sonda pasiva de temperatura NTC 10 Kohm - cable de 2 hilos - 1 m.*

Obtenido de <https://www.sentera.eu/es/detallesdelproducto/sonda-pasiva-de-temperatura-ntc-10-kohm-cable-de-2-hilos-1-m/138163>

Tech, J. (2022). *Interfaz Gráfica de Control - ESP32 - Windows.* Obtenido de

<https://www.youtube.com/watch?v=AcTMY-7znSk>

Apéndices