



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”**

**MAESTRÍA EN
MENCIÓN: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

| |
|--|
| Título del proyecto: |
| CONTROL DE LOS PARÁMETROS DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE UNA MAQUINA PARA HACER HELADOS DE ROLLO |
| Línea de Investigación: |
| CIENCIAS DE LA INGENIERÍA APLICADAS A LA PRODUCCIÓN, SOCIEDAD Y DESARROLLO SUSTENTABLE |
| Campo amplio de conocimiento: |
| INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN |
| Autor/a: |
| Ing. JHONATAN XAVIER VÁSCONEZ JARRIN |
| Tutor/a: |
| Mg. WILMER FABIAN ALBARRACÍN GUAROCHICO |

Quito – Ecuador

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo Wilmer Fabian Albarracín Guarochico con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **Control de los parámetros de un sistema de refrigeración de una máquina para hacer helados de rollo.**

Elaborado por: **JHONATAN XAVIER VÁSCONEZ JARRÍN**, de C.I: **1726361593**, estudiante de la Maestría: **ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN** de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 17 de febrero de 2024



Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Universidad
Israel

Yo, **JHONATAN XAVIER VÁSCONEZ JARRÍN** con C.I: **1726361593**, autor/a del proyecto de titulación denominado: **Control de los parámetros de un sistema de refrigeración de una máquina para hacer helados de rollo**. Previo a la obtención del título de Magister en **ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 17 de febrero de 2024


Firma

Tabla de contenidos

| | |
|--|----|
| APROBACIÓN DEL TUTOR | 2 |
| DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE | 3 |
| INFORMACIÓN GENERAL | 1 |
| Contextualización del tema..... | 1 |
| Problema de investigación | 2 |
| Objetivo general..... | 2 |
| Objetivos específicos..... | 2 |
| Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:..... | 3 |
| CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 4 |
| 1.1. Contextualización general del estado del arte | 4 |
| 1.2. Proceso investigativo metodológico | 6 |
| CAPÍTULO II: PROPUESTA..... | 8 |
| 2.1 Fundamentos teóricos aplicados..... | 8 |
| 2.1.1. Introducción | 8 |
| 2.1.2. Efecto Peltier | 8 |
| 2.1.3. Celda Peltier | 9 |
| 2.1.4. Flujos de Energía y COP en la Celda Peltier..... | 10 |
| 2.1.5. Criterios de selección de una celda Peltier | 11 |
| 2.1.6. Cálculo de condiciones extremas de temperatura | 11 |
| 2.1.6.1. Cálculo del coeficiente de convección externo..... | 11 |
| 2.1.6.2. Cálculo del coeficiente de radiación externo..... | 14 |
| 2.1.6.3. Cálculo del calor para enfriar el producto | 14 |
| 2.1.7. Dimensionamiento de las celdas Peltier | 16 |
| 2.1.7.1. Cálculo para las condiciones climáticas máximas. | 16 |
| 2.1.7.2. Cálculo de la carga térmica por producto..... | 17 |

| | |
|--|----|
| 2.1.8. Selección de la celda Peltier..... | 18 |
| 2.1.9. Selección de la fuente de energía..... | 20 |
| 2.1.9.1. Batería..... | 21 |
| 2.1.10. Selección de los demás sistemas electrónicos..... | 22 |
| 2.1.10.1. Módulo MOSFET 4 canales..... | 22 |
| 2.1.10.2. Arduino UNO..... | 23 |
| 2.1.10.3. Sensor de Temperatura..... | 24 |
| 2.2 Descripción de la propuesta..... | 25 |
| A. Estructura general..... | 26 |
| B. Explicación del aporte..... | 26 |
| 2.2.1. Programación en LabVIEW..... | 30 |
| 2.3 Validación de la propuesta..... | 31 |
| 2.4 Matriz de articulación de la propuesta..... | 34 |
| 2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión..... | 35 |
| CONCLUSIONES..... | 40 |
| RECOMENDACIONES..... | 41 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 42 |
| ANEXOS..... | 43 |
| ANEXO 1..... | 43 |
| ANEXO 2..... | 44 |
| ANEXO 3..... | 45 |
| ANEXO 4..... | 46 |
| ANEXO 5..... | 47 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Calor específico de ingredientes para fabricar helado..... | 14 |
| Tabla 2 Hoja de especificaciones de Rendimiento (THERMONAMIC, 2019) | 19 |
| Tabla 3 Características de Arduino Uno R3..... | 24 |
| Tabla 4 Tabla comparativa de sensores de temperatura | 24 |
| Tabla 5 Elementos utilizados en el sistema | 27 |
| Tabla 6 Información del módulo MOSFET de 4 canales basado en el IRF540 y sus componentes asociados..... | 29 |
| Tabla 7 Validación de propuesta..... | 31 |
| Tabla 8 Criterios de evaluación..... | 32 |
| Tabla 9 Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Luis Adrián Coloma Pérez | 32 |
| Tabla 10 Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Christian José Paillacho Cumbicus | 33 |
| Tabla 11 Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Alison Fernanda Torres Villacres | 33 |
| Tabla 12 Matriz de articulación..... | 34 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Esquema del Efecto Peltier (Llamas, 2016) | 9 |
| Figura 2 Celda Peltier, módulo termoeléctrico (Hadwaresfera, 2020) | 10 |
| Figura 3 Esquema de los flujos de energía en la celda Peltier (Ferrotec, 2016) | 10 |
| Figura 4 Curva de rendimiento a $T_h=27^\circ\text{C}$ (THERMONAMIC, 2019) | 19 |
| Figura 5 Curva de rendimiento estándar $Q_c = f(\Delta T)$ (THERMONAMIC, 2019) | 20 |
| Figura 6 Curva de rendimiento para COP en función del voltaje. (THERMONAMIC, 2019) .. | 20 |
| Figura 7 Opción 1 de colocación de baterías y celdas. | 21 |
| Figura 8 Opción 2 de colocación de baterías y celdas. | 22 |
| Figura 9 Módulo MOSFET irf540 4 canales. Obtenido de PRO electrónicos | 23 |
| Figura 10 Arduino Uno R3. Imagen proporcionada por mercado libre. | 23 |
| Figura 11 El módulo Max6675 con termopar tipo J. Imagen proporcionada por mercado libre. | 25 |
| Figura 12 Esquema de funcionamiento de la instrumentación | 26 |
| Figura 13 Celda Peltier Tec1-12715. Imagen obtenida de Mercado libre. | 27 |
| Figura 14 Partes de un módulo Peltier. (Llamas, 2016) | 28 |
| Figura 15 Distribución de los componentes necesarios para montar un módulo Peltier. | 28 |
| Figura 16 Batería Fp12240 (12V24Ah). (Caranda, 2018) | 29 |
| Figura 17 Programación en LabVIEW | 30 |
| Figura 18 Interfaz en LabVIEW | 31 |
| Figura 19 Se muestra las dos herramientas para recolección de datos en Excel. | 35 |
| Figura 20 Script de importación de datos en Matlab | 36 |
| Figura 21 Sistema de identificación de datos para la obtención de la función de transferencia. | 36 |
| Figura 22 Número de Polos: 4 y número de ceros:1, Caso 1 Estimación 91.46% | 36 |
| Figura 23 Número de Polos: 4 y número de ceros:2, Caso 2 Estimación 92.42 % | 37 |
| Figura 24 Número de Polos: 4 y número de ceros:3, Caso 2 Estimación 94.13 % | 37 |
| Figura 25 Parámetros obtenidos del PID tuner para el caso 3 | 37 |
| Figura 26 Colocación del módulo PID en el sistema de control en LabVIEW. | 38 |
| Figura 27 Comparación de la señal de control en las temperaturas antes y después del PID. | 38 |
| Figura 28 Comparación de temperaturas. | 39 |

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

En la actualidad la automatización en varios campos se ha disparado por motivo tecnológicos, este aspecto empezó en la industria con el fin de reducir la mano de obra implementando robótica con el objetivo de automatizar varios procesos, tomando en cuenta este precedente y los cambios en la tecnologías del hogar se ha desarrollado un nuevo campo de estudio que está en auge desde hace años, es la domótica que busca implementar los elementos eléctricos automáticos en las viviendas para volver la vida de las personas más fáciles, incluso poder reducir la carga de trabajo de las personas que se encuentran en el hogar y a su vez poder hacer todo esto desde los aplicativos móviles.

Para poder llegar a la automatización completa de todos los lugares del hogar e industrias en el Ecuador todavía falta mucho camino por recorrer, se busca crear una máquina que pueda ser utilizada en el sector comercial con fines lucrativos y poder controlar varios aspectos del sistema de refrigeración con el objetivo de mantener todos los componentes de este sistema en perfecto funcionamiento para lo que se quiere implementar, en este caso sería factible su regulación en base a la carga de trabajo térmico que fluctúa según la cantidad de helado colocado y según la variación del entorno en donde se lo va utilizar.

EL proyecto se busca con fines lucrativos, construir la máquina no sería problema ya que un sistema de refrigeración puede ser incluso reciclado de un frigorífico usado en una casa o a su vez la compra de un equipo nuevo que cumpla con los requerimientos necesarios, en este caso la parte financiera del proyecto recae en el autor que va a financiarlo, con ayuda de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en donde se realizaran algunas pruebas de funcionamiento del sistema de refrigeración antes de empezar con la automatización del mismo.

Las personas que van a realizar el proyecto como tal de manera operativo es en primera instancia el autor del trabajo de investigación ya que por la formación en la carrera de Ingeniería Mecánica industrial tiene experiencia con sistemas de refrigeración siendo crucial este conocimiento para poder definir los parámetros que van a fluctuar y regularan el sistema, en el proyecto hay circunstancias que nos obligan a ser usos de un laboratorista o técnico especialista en el manejo de los desechos de refrigerantes ya que como sabemos el uso y manejo de fluidos de este tipo son tóxicos para el medio ambiente y la utilización de equipos para su manejo lo haremos en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE con ayuda del laboratorista Roberto Buenaño.

Este sistema puede ser planteado sin la automatización pero quitaría el valor crucial en el entorno en donde se va aplicar ya que las fluctuaciones de carga térmicas causadas por el medio ambiente y la carga de los elementos a enfriar hace que un sistema de refrigeración no sea suficiente para poder ser utilizado en el entorno comercial, por este motivo su validez y aportación como un sistema íntegro que une tanto la automatización como la refrigeración logrará generar un proyecto de alto valor para el medio comercial.

Problema de investigación

A lo largo de los años, se han utilizado diferentes tipos de refrigerantes en los sistemas de refrigeración. Inicialmente, se utilizaban sustancias tóxicas o inflamables como el amoníaco y el dióxido de azufre. Posteriormente, se desarrollaron refrigerantes más seguros como los clorofluorocarbonos (CFC), pero debido a su impacto en la capa de ozono, se han sustituido por refrigerantes más ecológicos como los hidroclorofluorocarbónoses (HCFC) y los hidrofluorocarbonos (HFC).

Con el tiempo, se han logrado avances significativos en la eficiencia energética y el diseño de los sistemas de refrigeración. Se han desarrollado compresores más eficientes, intercambiadores de calor de alta tecnología y sistemas de control más sofisticados.

Los sistemas de refrigeración se utilizan ampliamente en la industria alimentaria, en la conservación de medicamentos y vacunas, en sistemas de climatización de edificios, en la industria química y en la refrigeración de equipos electrónicos, entre muchas otras aplicaciones.

Se busca implementar lo bueno de los sistemas de refrigeración en el sector comercial, a nivel de pequeños negocios, por este motivo surgió la necesidad de automatizar los sistemas de refrigeración con el objetivo de regular las circunstancias que se pueden presentar en el entorno y afecten las condiciones de funcionamiento del equipo.

Objetivo general

Implementar un sistema de control para variar parámetros en un equipo de generación de helado en rollos que funciona con un sistema de refrigeración.

Objetivos específicos

- Definir los equipos electrónicos utilizados para automatizar el sistema de refrigeración.
- Diseñar el control del sistema en base Arduino.

- Realizar la programación en Arduino y LabVIEW en base a los parámetros de funcionamiento.
- Validar que el funcionamiento del equipo este correcto en base de los parámetros de funcionamiento del equipo.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

Se considera un aporte a nivel económico de medianas empresas y pequeñas, si somos más específicos a nivel emprendedores siendo un proyecto enfocado a la automatización de sistemas que pueden ser usados en heladerías pequeñas y medianas para mejorar su eficiencia tanto energética como productiva.

El desarrollo de este proyecto ayudará a tener una mejor idea de cómo automatizar sistemas de refrigeración con el objetivo de mejorar procesos y controlarlos de forma remota, es decir sin necesidad de un operario cerca y a su vez poder detectar fallos sin necesidad de estar cerca del equipo, este tipo de tecnología ayudan al crecimiento de la industria de refrigeración y a los comerciantes de tecnología como a los negocios.

El consumo de helados en el país es del 58.5% de personas en Ecuador consumen helado 1 vez al día, es un número muy alto y es debido a que el costo de un helado está al alcance de todos los sectores económicos, este dato estadístico es suficiente para respaldar y validar la factibilidad del proyecto ya que su aplicación puede ser desarrollada y vendida a la industria heladera en Ecuador.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

En el Ecuador la automatización esta desarrollada en la industria, lo que ha permitido un desarrollo tecnológico en este ámbito, pero en las empresas pequeñas y medianas no se ha visto un avance, por esta razón estos emprendimientos tienen que contratar personas que ayuden a realizar los diferentes trabajos mecánicos que no permiten abaratar los costos de servicios o productos dejando una ganancia mínima. Por esta razón se busca incentivar a un nicho de mercado en especial que pueda ser automatizado en un sistema o equipo con el objetivo de mejorar la producción del producto manteniendo mejores ganancias y mejorando los procesos, esta investigación está enfocada en mejorar sistemas de refrigeración para la generación de helado en rollos, siendo fundamental conocer el funcionamiento del equipo para su correcto análisis de datos antes y después de la implementación de un análisis cuantitativo para poder mejorar este sistema.

En algunos trabajos de investigación los autores examinan la necesidad actual de mantener ambientes fríos debido a la inestabilidad térmica causada por cambios climáticos recientes. Se centran en analizar la respuesta de una celda Peltier en una cámara térmica aislada con lana de vidrio y evalúan cómo la temperatura ambiente afecta las variaciones térmicas en ausencia de aislamiento. Utilizando una simulación de una cámara de refrigeración con una celda Peltier, registran datos de temperatura durante una variación de tiempo controlada por un diferencial de potencial constante. El sistema, compuesto por una cámara térmica con aislamiento y una celda Peltier, demuestra eficiencia en espacios reducidos. El aislamiento térmico en la cámara evita la influencia de la temperatura ambiente en las variaciones internas y asegura la estabilidad de los datos recolectados. (Calderon, 2020)

Se han desarrollado estudios vinculados a la automatización de procesos en general en la industria, estos se pueden utilizar como punto de partida para poder tener un enfoque más amplio de como implementarlo en el nicho de mercado deseado, por este motivo en la investigación de la automatización de cuartos fríos de los Helados Jotaerre se desarrolló sistemas para mantener la temperatura de un cuarto de -28 a -35 ° C, implementando la recolección de datos y el manejo de variables de forma autónoma. Según Guachi et al. (2019) la base del proyecto fue la utilización de PLC como el cerebro del sistema por su facilidad de configuración y compatibilidad con los sensores. Se obtuvo en los resultados una mejora significativa del manejo de recursos durante la noche y el día además de reducir los gastos por pérdidas de mercadería debido a la descongelación y daño de los productos que permitió

concluir que la implementación de PLC con el fin de automatizar un sistema de refrigeración reduce los gastos energéticos y reduce el error humano dando mejores ganancias.

En varias universidades del país se busca desarrollar proyectos vinculados a la automatización de procesos industriales utilizando PLC y control remoto del mismo, en específico según Córdor (2019) desarrollar la automatización de procesos y sistemas industriales vinculados a la refrigeración necesita colocar sistemas integrados unidos a PLC y configuración remota para el manejo y monitoreo de los sistemas. Lo que obtuvo como resultados fue comparar el sistema sin análisis y monitoreo de datos que antes se lo hacía de forma manual con la automatización del proceso logrando mejorar de forma significativa la eficiencia y reduciendo los gastos energéticos y económicos además de su manejo remoto.

Con las investigaciones analizadas que tiene un vínculo con el actual proyecto de investigación se concluye que es importante tener noción de los proyectos que se han desarrollado en la actualidad así como las tecnologías aplicadas, esto nos permite tomar las mejores decisiones referente a lo que queremos realizar y como lo debemos hacer, por esta razón vamos a utilizar todo el conocimiento adquirido con el fin de mejorar la investigación mediante la automatización de un sistema de refrigeración teniendo como base los sistemas PLC y logrando mejorar dicho sistema para poder reducir el gasto energético, una vez implementado el manejo autónomo del proceso buscaremos comparar el sistema con lo que tenemos en el mercado actual para poder definir si el sistema utilizado cumple las expectativas planteadas y a su vez logramos el objetivo de implementar este sistema en las empresas pequeñas y medianas.

Incluso en la rama de la ingeniería aeroespacial se ha desarrollado investigaciones como la creciente relevancia de la técnica de freeze casting en la fabricación de materiales porosos, basada en la solidificación de disoluciones de partículas metálicas o cerámicas. Se busca una alternativa a los métodos de enfriamiento convencionales para lograr un control preciso de la estructura cristalina del disolvente y la morfología de poros. Para esto, se propone la utilización de una célula Peltier, aprovechando los avances en termoelectricidad impulsados por el desarrollo de semiconductores. Antes de su integración en el proceso de solidificación, se estudia la célula Peltier de manera aislada para determinar la diferencia de temperatura en sus superficies según la potencia eléctrica. (Crsitóbal, 2020)

1.2. Proceso investigativo metodológico

En el sistema de refrigeración es importante identificar las variables que nos permitirán definir procesos automatizados en base a controlar las mismas por ende se busca utilizar un desarrollo cuantitativo de estas variables implementando la recolección de datos y generando índices de performance, podemos usar el COP que nos ayudará a tener noción de si nuestro sistema está funcionando a máximo de su capacidad , pero además podemos comparar los datos antes y después de las variables presentes de forma mecánica ya sea la temperatura o presión del sistemas.

La metodología experimental se puede aplicar al sistema mediante la realización de experimentos controlados para evaluar y medir su rendimiento bajo diferentes condiciones. Recopilar datos cuantitativos, como temperaturas alcanzadas, corrientes y voltajes, permitiría una evaluación objetiva del sistema en condiciones específicas. Además, la metodología de estudio de caso sería valiosa para realizar un análisis detallado de una implementación específica del sistema en un entorno práctico. Para la aplicación específica del sistema en la producción de helados, y examinar aspectos como el diseño, la implementación, los desafíos encontrados y las soluciones aplicadas. Esto proporcionaría una comprensión profunda del sistema en un contexto real.

Dentro de las dos metodologías de la investigación usada el estudio de caso nos ayuda de mejor manera para el fin del proyecto, que es la producción de estas máquinas, sea este el caso en la máquina para hacer rollos de helados es necesario conocer cuáles son las fallas y los problemas del sistema planteado para tomar en cuenta estos datos para aplicar las soluciones respectivas y tener más profundo el conocimiento acerca de las variables del sistema y poder a futuro diseñar mejores sistemas para que los clientes puedan usarlo en su totalidad y a su máxima capacidad.

Uno de los problemas explicados en los sistemas de refrigeración que ha surgido desde su creación es la contaminación de la sustancia usada como refrigerante, incluida el agua. Por este motivo se ha buscado alternativas para aplicar en el sector productivo como la electricidad, planteado como base la utilización de este sistema de forma remota en parques y heladerías para poder identificar mejoras en la refrigeración con menos contaminación y lograr a su vez mantener un producto rentable.

El método aplicado en la investigación es la recolección de datos, ya que nuestro sistema de refrigeración tiene varias variables mecánicas como la presión y temperatura, medir de forma precisa y a tiempo real las mismas nos ayudará a mejorar la recolección pero además de su medición es óptimo analizar qué pasa con las líneas de tendencia generadas en los gráficos de rendimiento que a su vez nos darán mejor visión de cómo está funcionando el sistema, que procesos están siendo más críticos y construir tendencias futuras para poder predecir su funcionamiento.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

La creación de un sistema de control que emplee sensores de temperatura para refrigerar una superficie de acero inoxidable mediante placas Peltier con el objetivo de producir helados requiere una comprensión detallada de conceptos fundamentales como la transferencia de calor, las propiedades termodinámicas de las placas Peltier, el diseño de circuitos y controladores, así como la aplicación de la teoría PID. Además, es crucial considerar las características térmicas del acero inoxidable, los principios de la ingeniería de alimentos y la eficiencia energética del sistema, asegurándose de cumplir con las normativas y estándares pertinentes. Este enfoque teórico garantiza un diseño eficiente y de alta calidad para el proceso de elaboración de helados.

2.1.1. Introducción

La elaboración de helados, una fusión cautivadora de ciencia y creatividad implica transformar ingredientes simples como leche, azúcar y variados sabores en una deliciosa mezcla congelada. Aunque la técnica ha evolucionado desde sus inicios, el proceso fundamental sigue siendo la manipulación cuidadosa de las temperaturas para lograr la textura y consistencia deseada.

No obstante, surge un desafío significativo: mantener la superficie de acero inoxidable a la temperatura adecuada para garantizar la congelación eficiente de los helados. En respuesta a este problema, se propone la implementación de un sistema de control inteligente que emplea sensores de temperatura y placas Peltier. Este enfoque no solo busca mejorar el proceso de fabricación, sino también asegurar la calidad y uniformidad de los helados producidos. A continuación, se explorará cómo la integración de estos elementos puede transformar radicalmente la producción de helados, ofreciendo una solución técnica y eficaz para este desafío apetitoso.

2.1.2. Efecto Peltier

El efecto Peltier es un fenómeno termoeléctrico que ocurre cuando una corriente eléctrica fluye a través de la unión de dos conductores diferentes, generando un intercambio de calor en el proceso. En este caso, se utiliza para controlar la temperatura de la superficie de acero inoxidable en el proceso de fabricación de helados.

La interacción descrita entre dos metales diferentes, que da lugar a un flujo de electrones y una diferencia de voltaje al establecer contacto, es fundamental para comprender el principio subyacente del efecto Peltier. Cuando aplicamos este fenómeno en un sistema de placas Peltier, la corriente eléctrica resultante provoca un efecto termoelectrico notable. En una de las caras de la placa, se absorbe calor, generando un enfriamiento efectivo, mientras que, en la otra cara, se libera calor, produciendo un aumento de temperatura. (PROFÍSICA, 2005)

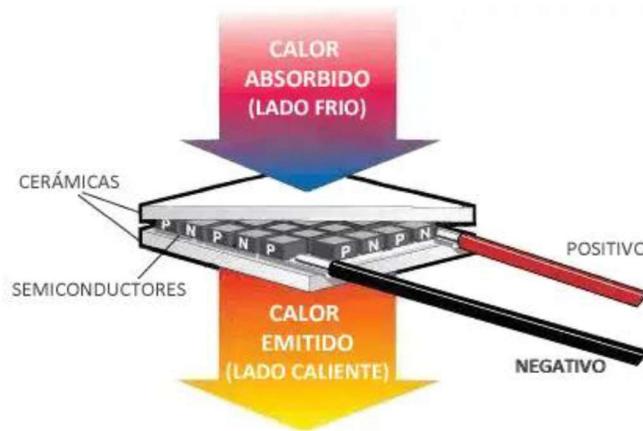


Figura 1 Esquema del Efecto Peltier (Llamas, 2016)

2.1.3. Celda Peltier

La celda Peltier, también llamada módulo Peltier o dispositivo termoelectrico, es un componente semiconductor que explota el efecto Peltier para generar cambios de temperatura mediante la aplicación de corriente eléctrica. Este dispositivo, nombrado en honor al físico francés Jean Charles Athanase Peltier, quien descubrió el fenómeno termoelectrico en 1834, consta de dos placas cerámicas, generalmente de bismuto-teluro (Bi_2Te_3), conectadas eléctricamente en serie. Cuando se aplica corriente eléctrica, la celda Peltier induce un enfriamiento en una placa y calentamiento en la otra, permitiendo así el traslado de calor en función de la dirección de la corriente eléctrica. (Hadwaresfera, 2020)

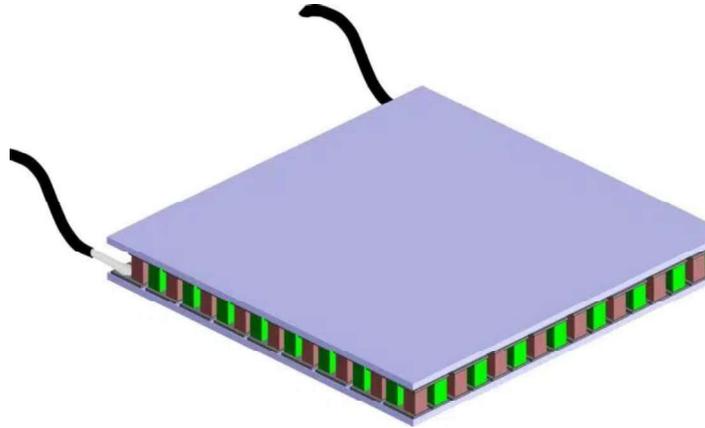


Figura 2 Celda Peltier, módulo termoeléctrico (Hadwaresfera, 2020)

2.1.4. Flujos de Energía y COP en la Celda Peltier

En la siguiente figura se presenta la disposición de los flujos de calor en una celda Peltier, evidenciando la ocurrencia de cinco efectos distintos. Estos incluyen el efecto Peltier, encargado tanto de absorber como de ceder calor; el efecto Joule, originado al suministrar energía eléctrica y provocando el calentamiento de semiconductores y el metal conductor; la pérdida de calor por conducción, derivada de la transmisión directa de calor entre los materiales; y por último, el efecto Thompson, que surge a medida que la corriente atraviesa el material cerámico de las caras de la celda, donde existe un gradiente de temperaturas (Ferrotec, 2016).

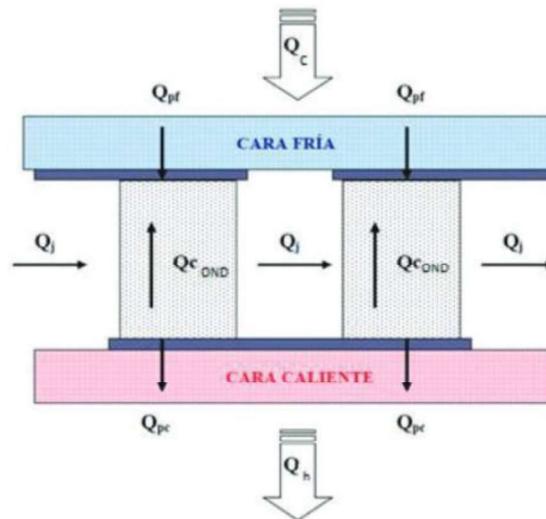


Figura 3 Esquema de los flujos de energía en la celda Peltier (Ferrotec, 2016)

En donde según la imagen los calores que intervienen son:

$Q_c =$ Calor de absorción por la cara fría

- $Q_h =$ Calor disipado por la cara caliente
- $Q_j =$ Calor generado por efecto Joule que se pierde
- $Q_{cond} =$ Calor de conducción que se pierde
- $Q_{pt} =$ Calor generado por efecto Thompson que se pierde

El Coeficiente de Desempeño (COP) puede ser definido de manera genérica como la relación entre la energía o trabajo útil producido por una máquina y la energía o trabajo externo necesario. Este coeficiente, siempre inferior a uno debido a la falta de procesos ideales en la naturaleza, proporciona una medida de la eficiencia de la máquina, siendo valores más próximos a uno indicativos de una mayor eficiencia (Ortiz, 2015).

El Coeficiente de Desempeño (COP) se establece de manera matemática como la proporción entre el calor absorbido o transferido por la celda Peltier, generalmente vinculado al efecto Peltier, y la energía eléctrica suministrada a dicha celda. Un COP más elevado indica una mayor eficiencia de la celda Peltier en la conversión de energía eléctrica a transferencia de calor (Romero, 2017).

Siendo la fórmula general de la celda Peltier:

$$\text{COP} = \frac{\text{Calor absorbido por efecto Peltier}}{\text{Energía eléctrica suministrada}}$$

2.1.5. Criterios de selección de una celda Peltier

Seleccionar una celda Peltier implica tomar en cuenta varios aspectos esenciales. Es crucial definir claramente los requerimientos de temperatura, calcular la carga térmica, especificar los valores de tensión y corriente eléctrica, y garantizar que las dimensiones y el grosor de la celda sean apropiados para la aplicación. Además, se debe analizar la eficiencia y el Coeficiente de Desempeño (COP), optar por un fabricante confiable, evaluar la estabilidad y durabilidad, tener en cuenta consideraciones presupuestarias y de compatibilidad ambiental, así como verificar la disponibilidad de soporte técnico y documentación detallada.

2.1.6. Cálculo de condiciones extremas de temperatura

2.1.6.1. Cálculo del coeficiente de convección externo

Nos basaremos en la fórmula de Incropera (1996) para la obtención de la temperatura de película.

$$T_{pe} = \frac{T_{am} + T_{se}}{2}$$

En donde:

T_{pe} = Temperatura de película del ambiente.

T_{am} = Temperatura ambiente.

T_{se} = Temperatura la superficie de la placa.

Este valor nos ayudaría a poder encontrar las características físicas del aire a esta temperatura, parámetros que nos ayudarán para poder aplicar criterios de Prandtl y Grashof para la convección natural.

Para obtener la densidad del aire se puede basarse en la fórmula de los gases ideales ya que la densidad depende de la presión constante de los gases y la temperatura.

$$\rho_{aire} = \frac{P_{am}}{R \cdot T_{pe}}$$

En donde:

ρ_{aire} = Densidad del aire.

P_{am} = Presión atmosférica

R = Constante de los gases ideales $\left(\frac{287J}{kg \cdot ^\circ K}\right)$

T_{pe} = Temperatura de película del ambiente.

Tomemos como referencia el número de Grashof en base al número de Prandtl, nos permiten encontrar el número de Rayleigh con el fin de poder utilizar dicho número para escoger una fórmula para encontrar el número de Nusselt.

$$Gr = \frac{g \cdot \beta_e \cdot (T_{am} - T_{pe}) \cdot L^3}{\nu_e^2}$$

En donde:

Gr = Número de Grashof

g = Aceleración de la gravedad $\left(\frac{9.8 m}{s^2}\right)$

β_e = Coeficiente de expansión $(^\circ K^{-1})$

T_{am} = Temperatura ambiente.

T_{pe} = Temperatura de película del ambiente.

L = Longitud característica ((m))

ν_e = Viscosidad cinemática de aire exterior ($\frac{m^2}{s}$)

Con el fin de aproximar para poder obtener un modelo matemático que nos sirva para la programación del Arduino tomamos en cuenta que la temperatura del ambiente y la temperatura del material en un principio están en la misma temperatura, por ende, se aplica esta condición.

$$Gr = \frac{g \cdot \beta_e \cdot (T_{am} - T_{pe}) \cdot L^3}{\nu_e^2} \approx 0$$

Al ser el número de Rayleigh igual a:

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

Donde:

Gr = Número de Grashof

Pr = Número de Prandtl

Siendo el número de Rayleigh aproximado a 0 por ende se aplicaría esta condición para encontrar el número de Nusselt.

Para flujo laminar cuando $Ra < 10^9$ se aplica

$$Nu = 0.68 + \frac{0.67 * Ra^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{4}{9}}}$$

Donde:

Nu = Número de Nusselt

Ya que la condición al ser cero el número remplazado nos queda un valor de Nusselt constante igual a 0.68.

Una vez obtenido el valor de Nusselt se utiliza este para encontrar el coeficiente de transferencia de calor por convección.

$$h_e = \frac{Nu \cdot k_e}{L}$$

En donde:

k_e = Coeficiente de conducción del acero inoxidable. $\left(16 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}\right)$

L = Longitud característica que es igual a:

$$L = \text{espesor}$$

Estos datos dependen de su geometría y del material de la plancha, por ende, el coeficiente es constante.

$$h_e = \frac{N_u \cdot k_e}{L} = \frac{0.68 \cdot 16 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}}{0.003m} = 3626.67 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

2.1.6.2. Cálculo del coeficiente de radiación externo

Aplicamos la ecuación de la ley de Stefan-Boltzmann para la radiación.

$$h_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{am} + T_{se}) \cdot (T_{am}^2 + T_{se}^2)$$

En donde:

ε = Emisividad del material acero inoxidable es 0.4

σ = La constante de Stefan-Boltzmann. $\left(5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}\right)$

Cálculo de la tasa de transferencia de calor por radiación.

$$Q_{rad} = h_{rad} \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde:

Q_{rad} = Tasa de transferencia de calor por convección (W)

2.1.6.3. Cálculo del calor para enfriar el producto

Al colocar un producto más caliente en una cámara de refrigeración, este cederá calor hasta alcanzar la temperatura de almacenamiento, siguiendo los principios de transferencia de calor y contribuyendo a la preservación de alimentos.

Tabla 1 Calor específico de ingredientes para fabricar helado

| Sustancia | Calor Específico (J/g°C) | Densidad (g/cm³) |
|-------------------------|--------------------------|------------------|
| Leche (promedio) | 3.93 | 1.03 |
| Manzana | 3.33 | 0.83 |

| | | |
|----------------|------|------|
| Plátano | 3.31 | 1.21 |
| Naranja | 3.36 | 0.85 |
| Uva | 3.49 | 0.81 |
| Fresa | 3.27 | 0.70 |
| Piña | 3.84 | 0.80 |
| Kiwi | 4.12 | 1.05 |

Para poder conocer la cantidad de energía necesaria para fabricar helado debemos conocer los calores específicos y la densidad de varios productos que vayan a utilizar, en general la mezcla sería la utilización de leche con cualquier fruta.

Sabiendo que la cantidad por porción necesaria para llenar la plancha de acero inoxidable que es de medidas 491mm · 331mm y suponiendo una película uniforme de 4 mm, podemos sacar el volumen de la mezcla que va a ser %50 vs %50, %25 vs %50 y %50 vs %25.

Aplicamos la fórmula de la masa.

$$m_{mezcla} = \rho_{mezcla} \cdot V_{mezcla}$$

En donde:

ρ_{mezcla} = Densidad de la mezcla

V_{mezcla} = Volumen de la mezcla. $V_{mezcla} = 49,1cm \cdot 33,1cm \cdot 0,3cm = 485,277cm^3$

m_{mezcla} = Masa total de la mezcla.

Una vez conocido la masa de la mezcla, ocupamos la fórmula del calor para poder obtener de la mezcla la masa y el calor necesario para enfriar la leche y la fruta desde 25°C hasta -5°C, en estas condiciones obtendremos la carga del producto necesario.

$$Q_{prod} = m_{mezcla} c_e \Delta T$$

Donde:

Q_{prod} = Calor del producto.

c_e = Calor específico de la mezcla

2.1.7. Dimensionamiento de las celdas Peltier

2.1.7.1. Cálculo para las condiciones climáticas máximas.

Para el cálculo de la temperatura de película máxima.

$$T_{pemax} = \frac{T_{ammax} + T_{semax}}{2}$$

$$T_{pemax} = \text{Temperatura de película del ambiente máxima.} \quad T_{pemax} = 26^{\circ}\text{C}$$

$$T_{amax} = \text{Temperatura ambiente máxima.} \quad T_{amax} = 26^{\circ}\text{C}$$

$$T_{semax} = \text{Temperatura la superficie de la placa máxima.} \quad T_{semax} = 26^{\circ}\text{C}$$

Remplazando:

$$T_{pemax} = \frac{T_{ammax} + T_{semax}}{2} = \frac{26^{\circ}\text{C} + 26^{\circ}\text{C}}{2} \implies T_{pemax} = 26^{\circ}\text{C}$$

Para las condiciones climáticas mínimas.

$$T_{pemin} = \frac{T_{ammin} + T_{semin}}{2}$$

$$T_{pemin} = \text{Temperatura de película del ambiente máxima.} \quad T_{pemin} = 2^{\circ}\text{C}$$

$$T_{amin} = \text{Temperatura ambiente máxima.} \quad T_{amin} = 2^{\circ}\text{C}$$

$$T_{semin} = \text{Temperatura la superficie de la placa máxima.} \quad T_{semin} = 2^{\circ}\text{C}$$

Remplazando:

$$T_{pemin} = \frac{T_{ammin} + T_{semin}}{2} = \frac{2^{\circ}\text{C} + 2^{\circ}\text{C}}{2} \implies T_{pemin} = 2^{\circ}\text{C}$$

Aplicando la fórmula general de transferencia de calor por convección

$$Q = h_e \cdot A \cdot \Delta T$$

En donde:

Q_c = Tasa de transferencia de calor por convección (W)

A = Área de transferencia de calor (m^2)

ΔT = Diferencia entre el fluido y la superficie sólida.

Al remplazar los valores tomando en cuenta que la plancha de acero inoxidable es de (0.03 m · 0.02 m) y según lo establecido la variación se acerca a 0, por ende, cuando la variación de temperatura este más ligada a el valor de 0 la tasa de trasferencia del mismo modo sería cero, para fines prácticos tomamos como diferencia experimental 0.01°K.

$$Q_c = \frac{3626.67 \text{ W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 0.06\text{m}^2 \cdot 0.01^\circ\text{K} = 2,176 \text{ W}$$

Al revisar el calor por radiación en el entorno realizamos los cálculos para las temperaturas más altas que es las condiciones más extremas.

$$h_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{am} + T_{se}) \cdot (T_{am}^2 + T_{se}^2)$$

Remplazando:

$$h_{rad} = h_{rad} = 0.4 \cdot 5.67 \times 10^{-8} \cdot (299.15 + 299.15) \cdot (299.15^2 + 299.15^2)$$

$$h_{rad} = \frac{0.0102\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}$$

Para calcular la tasa de trasferencia de calor por convención

$$Q_{rad} = \frac{0.0102 \text{ W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 0.06\text{m}^2 \cdot 0.01^\circ\text{K} = Q_{rad} \approx 6.12 \times 10^{-6}\text{W}$$

2.1.7.2. Cálculo de la carga térmica por producto.

$$\begin{aligned} m_{mezcla1} &= \rho_{mezcla} \cdot V_{mezcla} \\ &= 1.03 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \cdot 485.277\text{cm}^3 \cdot 25\% + 4,12 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \cdot 485.277\text{cm}^3 \cdot 75\% \end{aligned}$$

$$m_{mezcla1} = 1349.555\text{gr}$$

$$\begin{aligned} m_{mezcla2} &= \rho_{mezcla} \cdot V_{mezcla} \\ &= 1.03 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \cdot 485.277\text{cm}^3 \cdot 50\% + 4,12 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \cdot 485.277\text{cm}^3 \cdot 50\% \end{aligned}$$

$$m_{mezcla2} = 1474.715\text{gr}$$

$$\begin{aligned} m_{mezcla3} &= \rho_{mezcla} \cdot V_{mezcla} \\ &= 1.03 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \cdot 485.277\text{cm}^3 \cdot 75\% + 4,12 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \cdot 485.277\text{cm}^3 \cdot 25\% \end{aligned}$$

$$m_{mezcla3} = 682.182 \text{ gr}$$

En base a los tres porcentajes de mezcla tomamos la mezcla con mayor masa.

$$\begin{aligned}
Q_{prod} &= m_{mezcla} c_e \Delta T \\
&= 1.03 \frac{gr}{cm^3} \cdot 485.277 cm^3 \cdot 50\% \cdot (25^\circ C - (-1^\circ C)) + 4.12 \frac{gr}{cm^3} \\
&\quad \cdot 485.277 cm^3 \cdot 50\% \cdot (25^\circ C - (-1^\circ C)) = 31851.947 J
\end{aligned}$$

Aplicada en el tiempo necesario para vender el producto en 240 segundos (4 minutos).

$$Q_{prod} = \frac{31851.947 J}{240s} = 132.716 W = 0.1327 KW$$

La obtención de las 2 condiciones que afectan al funcionamiento del equipo son sumamente relevantes para el cálculo de la celda Peltier, por este motivo se toman en consideración colocar en serie o en paralelo según corresponda para poder llegar a enfriar la cantidad de mezcla en el tiempo establecido.

2.1.8. Selección de la celda Peltier.

La temperatura que debe mantenerse el helado es $-1^\circ C$, pero se puede modificar la temperatura deseada, pero para un caso práctico vamos a realizar la elección de las celdas y su disposición en base a la cantidad de Calor necesario a ser disipado, que es de 132.716 W, que vamos a redondear a 133 W para facilitar los cálculos en 240 segundos de exposición al frío.

Las condiciones ambientales promedio son de $25^\circ C$, pero varia, al igual que la fluctuación de energía necesaria para congelar la mezcla.

Al ser una cantidad considerable de mezcla y por ende de calor disipado vamos a distribuir de forma estratégica las celdas con el fin de optimizar una batería.

Una vez denominados los parámetros establecidos vamos a ayudarnos con 2 factores para su selección, el primero es tomar en cuenta las celdas Peltier comerciales para desarrollar el proyecto y la segunda es en base a la celda que nominalmente nos de las Potencia requerida utilizar las gráficas de rendimiento para saber si la celda sirve para la aplicación requerida.

Tomando como referencia la celda Peltier Tec1-12715 que se muestran los valores de diseño indicados a continuación.

Tabla 2 Hoja de especificaciones de Rendimiento (THERMONAMIC, 2019)

Performance Specification Sheet

| | | | |
|----------------------|-------|-------|---|
| T_h (°C) | 27 | 50 | Hot side temperature at environment: dry air, N_2 |
| DT_{max} (°C) | 70 | 79 | Temperature Difference between cold and hot side of the module when cooling capacity is zero at cold side |
| U_{max} (Voltage) | 16.0 | 17.2 | Voltage applied to the module at DT_{max} |
| I_{max} (amps) | 15.0 | 15.0 | DC current through the modules at DT_{max} |
| $Q_{C,max}$ (Watts) | 150.2 | 164.2 | Cooling capacity at cold side of the module under $DT = 0$ °C |
| AC resistance (ohms) | 0.80 | 0.88 | The module resistance is tested under AC |
| Tolerance (%) | ± 10 | | For thermal and electricity parameters |

Para poder analizar las tablas de rendimiento a continuación presentadas, es necesario Tomar en cuenta que la $T_h = 27$ °C y la temperatura a la que queremos tener el lado frío sería $T_c = -3$ °C, dando una diferencia $\Delta T = T_h - T_c = 27$ °C - $(-3$ °C) = 30°C.

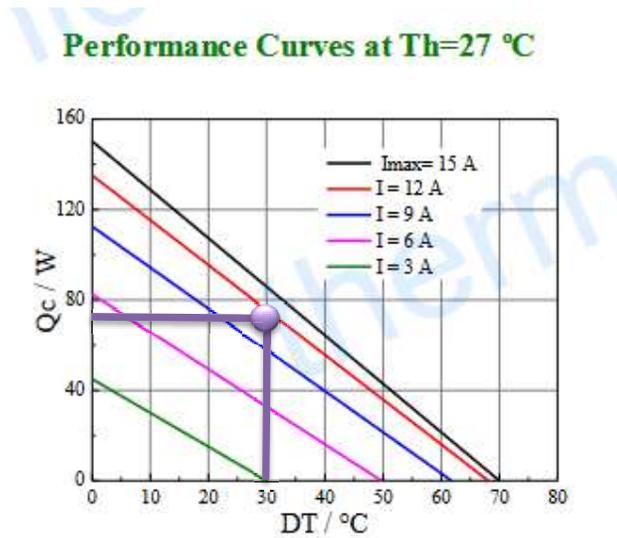


Figura 4 Curva de rendimiento a $T_h=27$ °C (THERMONAMIC, 2019)

Podemos realizar una vertical en la variación de temperatura de 30°C, donde tenemos varias opciones, pero nuestra decisión de corriente está en base a la Potencia Q_c de enfriamiento que necesitamos, si partimos de 65 W la necesidad de cada celda, podemos cruzar fácilmente en el gráfico para poder encontrar la corriente, para el caso en la práctica podríamos usar un rango de 9 a 12 A, pero para mantener una constante y tomar en cuenta pérdidas usaremos 12A.

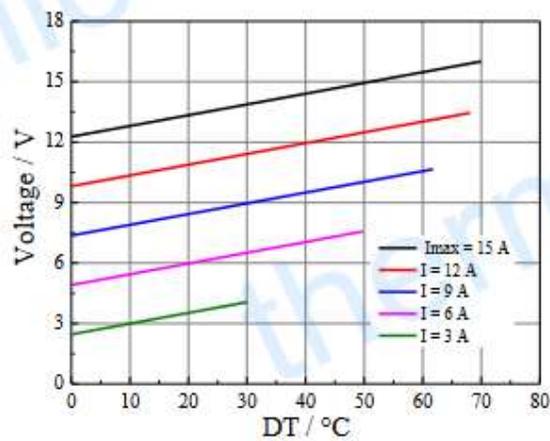


Figura 5 Curva de rendimiento estándar $Q_c = f(\Delta T)$ (THERMONAMIC, 2019)

Para poder hallar el voltaje partimos en el gráfico anterior tomando como base la corriente de 12A, la diferencia de temperatura de 30°C para poder encontrar el voltaje que para el caso es de 11.8 V, que para nivel comercial la dejaremos en 12V.

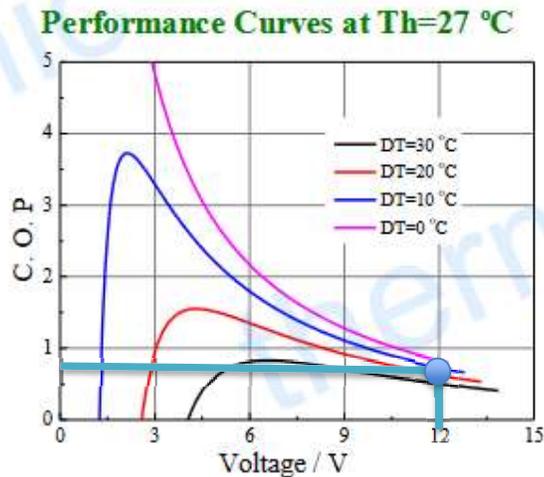


Figura 6 Curva de rendimiento para COP en función del voltaje. (THERMONAMIC, 2019)

Con estos valores y la curva de comportamiento podemos encontrar el COP alcanzado de esta celda Peltier con las condiciones planteadas que son las adecuadas para la aplicación, obtenido según el gráfico de 0.8.

2.1.9. Selección de la fuente de energía.

Al decidir sobre la fuente de energía más apropiada, es esencial evaluar los requerimientos energéticos, seleccionar el tipo de energía más adecuado (ya sea electricidad, fuentes renovables o combustibles fósiles), considerar la disponibilidad local, analizar costos y sostenibilidad, evaluar el impacto ambiental, examinar la infraestructura existente, y tener en

cuenta la fiabilidad y continuidad del suministro. Además, es crucial conocer las regulaciones locales, explorar la innovación tecnológica y considerar la necesidad de almacenamiento de energía. Al ponderar estos factores, se puede tomar una decisión fundamentada y alineada con los objetivos y requisitos particulares de la aplicación.

Para el caso hay 2 opciones vigentes que las evaluaremos con el fin de escoger la mejor para la aplicación deseada del control del sistema planteado.

2.1.9.1. Batería

Ya que las celdas Peltier están conectadas directamente a las baterías, depende exclusivamente su elección del voltaje y amperaje necesario para poder llegar a la potencia necesaria aplicada en las Peltier para poder enfriar la superficie necesaria.

Plantearé las 2 opciones viables y en base a ello describiremos la mejor opción y el porqué de su elección, para el primer caso si conectamos la batería en paralelo con 2 celdas Peltier como se muestra en la siguiente ilustración y tomando en cuenta que el voltaje de la batería en base a la celda Peltier 12V y 12 A sería necesario en la opción 1 utilizar una batería de el doble de capacidad en amperaje, es decir de 12V y 24A que si hay en el mercado y se muestra a continuación junto al esquema.

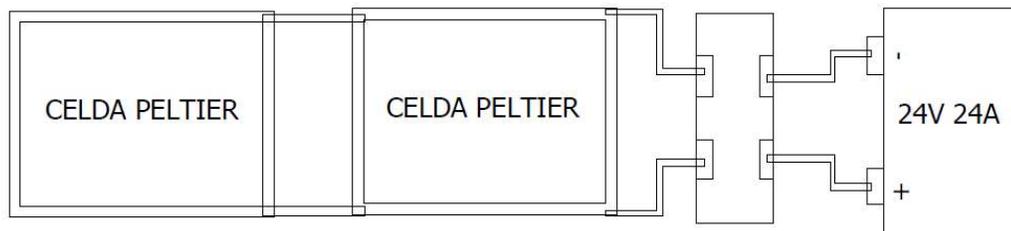


Figura 7 Opción 1 de colocación de baterías y celdas.

La ventaja de esta opción es que el transistor MOSFET recibe una sola señal del lado de control lo que permite que haya mayor rapidez en su accionar y además la batería utilizaría más amperaje para que funcione dando en cada una de las celdas Peltier según la eficiencia 80W.

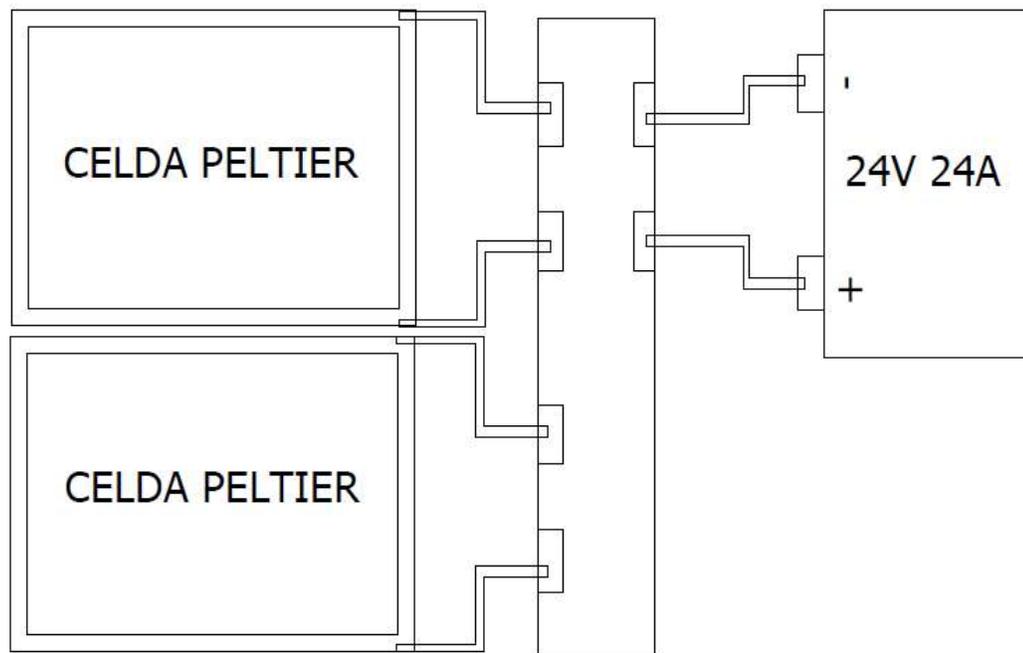


Figura 8 Opción 2 de colocación de baterías y celdas.

Mientras que la según opción en el lado de potencia tiene dos salidas de carga, para poder realizar este circuito el lado de control debe tener dos señales que deben ser aplicadas al mismo tiempo con el fin de dar el paso de corriente a las celdas con la misma batería.

2.1.10. Selección de los demás sistemas electrónicos.

2.1.10.1. Módulo MOSFET 4 canales

Un módulo de 4 canales con MOSFET basado en el IRF540 consiste en un dispositivo que incorpora cuatro transistores MOSFET IRF540 en una única unidad. Cada canal permite la gestión independiente de cargas de alta potencia. Es esencial verificar aspectos como la capacidad de corriente, voltaje y protecciones integradas del módulo, así como considerar elementos como la disposición de los pines, la necesidad de disipadores de calor y la compatibilidad con la señal de control del sistema.



Figura 9 Módulo MOSFET irf540 4 canales. Obtenido de PRO electrónicos

Una de las razones para utilizar este módulo es la corriente máxima que se utiliza, se suministra desde la batería 12 A y 12 V, una vez solucionado este problema viene el control que será realizado utilizando una señal máxima de 6V, que en el mercado puede obtenerse del Arduino sin problemas.

2.1.10.2. Arduino UNO

El Arduino Uno es adecuado para ser utilizado con el módulo MOSFET de 4 canales basado en el IRF540. Puedes emplear el Arduino Uno para controlar individualmente los canales del MOSFET, permitiendo la gestión eficiente de cargas de alta potencia. La conexión básica implica el uso de pines de salida digitales del Arduino para controlar cada canal del MOSFET, y es esencial asegurar una conexión adecuada entre las tierras del Arduino y del módulo para establecer un punto de referencia común.



Figura 10 Arduino Uno R3. Imagen proporcionada por mercado libre.

Para fines de control y compatibilidad con LabVIEW la mejor opción es utilizar elementos Arduino de cualquier gama, necesariamente necesitamos pocos pines digitales y pocos pines analógicos por ende esta es la opción más adecuada en base a la tabla siguiente.

Tabla 3 Características de Arduino Uno R3

| Características | Detalles/Notas |
|---------------------------|----------------|
| Microcontrolador | Atmega328 |
| Voltaje de funcionamiento | 5V |
| Voltaje de alimentación | 5-20V |
| Pines digitales | 14 |
| Pines analógicos | 6 |
| Velocidad de reloj | 16MHz |

2.1.10.3. Sensor de Temperatura

La elección de un sensor de temperatura adecuado implica tener en cuenta varios aspectos. Es necesario considerar factores como el rango de temperatura requerido, la precisión deseada, el tipo de salida (analógica o digital), la interfaz y conexión, la fuente de alimentación, el tamaño, la forma, el costo, las condiciones ambientales, la reputación del fabricante y los requisitos específicos de la aplicación. Al ponderar estas consideraciones, se puede tomar una decisión informada que se ajuste a las necesidades particulares del proyecto.

Por este motivo se realizó una tabla comparativa entre termistor, termopar, LM35 y DS18B20 que nos permita decidir cuál será a mejor opción para la aplicación deseada.

Tabla 4 Tabla comparativa de sensores de temperatura

| Características | Termistor | Termopar | LM35 | DS18B20 |
|-------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------|
| Tipo de Sensor de Temperatura | Termistor | Termopar | Sensor de Voltaje | Sensor de Temperatura Digital |
| Rango de Temperatura | Variable según tipo | Amplio | -55°C a 150°C | -55°C a +125°C |
| Precisión | Variable según tipo | Variable según tipo | ±0.5°C | ±0.5°C (en -10°C a +85°C) |
| Salida del Sensor | Resistencia variable | Voltaje | Voltaje | Digital (Bus 1-Wire) |
| Conexión | Analógica | Analógica | Analógica | Digital |

| | | | | |
|---------------------|---|---|----------|-----------|
| Alimentación | - | - | 4V a 30V | 3V a 5.5V |
|---------------------|---|---|----------|-----------|

Una condición necesaria es la capacidad que debe tener el sensor para poder resistir la temperatura en la intemperie y en el contacto con el Agua cuando se condense en el aire húmedo del entorno, por ende, se optó por elegir el termopar tipo J para poder utilizarlo en esta aplicación y siendo compatible con Arduino no habría problema en su conexión.

Con fines práctica hay en existencia el módulo Max6675 con termopar tipo J para que funcione de la mejor manera y sea más fácil su conexión con Arduino.



Figura 11 El módulo Max6675 con termopar tipo J. Imagen proporcionada por mercado libre.

2.2 Descripción de la propuesta

El sistema de enfriamiento adopta dos celdas Peltier Tec1-12715, alimentadas por una batería de 12 V y 24 A, y coordinadas a través de un módulo MOSFET de 4 canales para separar las funciones de control y potencia. Dirigido por un Arduino Uno R3, que recibe señales analógicas y regula la corriente hacia las celdas Peltier, el sistema se adapta dinámicamente utilizando la información de temperatura proporcionada por un sensor DS18B20 en el lado frío, permitiendo al Arduino ajustar la potencia para mantener la temperatura deseada.

Este sistema integra componentes electrónicos avanzados para lograr un enfriamiento eficiente y controlado. La combinación de celdas Peltier, batería, módulo MOSFET y Arduino Uno, respaldada por la medición en tiempo real de la temperatura, constituye un sistema dinámico que responde de manera activa a las condiciones térmicas, presentando una perspectiva innovadora para aplicaciones que requieren refrigeración controlada.

A. Estructura general

La retroalimentación esencial provendrá del sensor de temperatura, situado en la región fría del sistema. La información térmica capturada será procesada por el Arduino, el cual ajustará de forma activa la potencia suministrada a las celdas Peltier con el fin de mantener una temperatura predefinida. Este sistema dinámico será representado gráficamente, resaltando las conexiones entre los elementos clave, tales como las celdas Peltier, la batería, el módulo MOSFET, el Arduino Uno y el sensor de temperatura. Este esquema visual simplificará la comprensión de la interacción coordinada de cada componente en la operación del sistema de refrigeración.

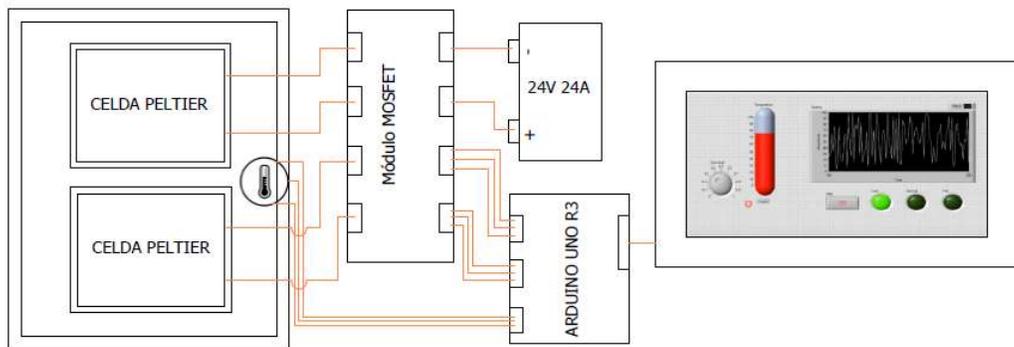


Figura 12 Esquema de funcionamiento de la instrumentación

El sistema consiste en la conexión de celdas Peltier Tec1-12715 mediante un módulo MOSFET de 4 canales, controlado por un Arduino Uno R3. El número total de cables a unir incluirá los necesarios para alimentar y conectar a tierra las celdas Peltier (cuatro cables en total), así como los cables asociados con el módulo MOSFET y el Arduino Uno R3, que manejará las señales de control. La parte eléctrica y de control detallado implica la integración de estos componentes para lograr un sistema dinámico de refrigeración.

Según la ilustración se puede analizar las uniones necesarias en cada conexión cableada con el fin de ejemplificar de forma más precisa, tomando como referencia la conexión de tres cables la tierra, alimentación y señal, mientras las conexiones de 2 cables por tierra y alimentación, del mismo modo en la conexión de 1 cable es mediante USB.

B. Explicación del aporte

Para el caso, basándonos en la teoría utilizada con la elección de la celda Peltier y en base a ella desglosar la elección de los componentes específicos para la aplicación utilizada es necesario

indicar cada uno de ellos de forma individual indicando las características de cada uno y su funcionamiento en la aplicación.

Tabla 5 Elementos utilizados en el sistema

| Elemento | Descripción |
|---------------------------------------|---|
| Celdas Peltier Tec1-12715 | Dispositivos termoeléctricos para generar diferencia de temperatura. |
| Batería de 12 V y 24 A | Fuente de energía para alimentar las celdas Peltier. |
| Módulo MOSFET de 4 canales | Actúa como interruptor controlado para las celdas Peltier. |
| Arduino Uno R3 | Microcontrolador para el control y la regulación del sistema. |
| Sensor de temperatura Tipo J | Mide la temperatura en el lado frío de las celdas Peltier. |
| Cables de Señal y Alimentación | Conectan los componentes, transmitiendo señales de control y suministrando energía eléctrica. |
| Computadora | Utilizada para monitorear y controlar el sistema a través del software LabVIEW. |

Las celdas Peltier Tec1-12715 utilizadas son 2 conectadas de forma independiente en el módulo MOSFET, con el fin de disminuir la cantidad de corriente transmitida por la batería en el sistema de potencia.



Figura 13 Celda Peltier Tec1-12715. Imagen obtenida de Mercado libre.

Cada vez que se use una celda Peltier es necesario utilizar un módulo para cada celda con el fin de aumentar la conductividad y por ende la eficiencia, no va a ser 100% pero va a lograr disipar mejor el calor, asimismo utilizar en cada unión pasta térmica y ventilador si es necesario, para el caso en el lado de calor será utilizado el ventilador y un radiador de aire con

aletas, pero en el lado frío será mejor conectar directamente a un radiador y a la plancha de acero inoxidable como se muestra en el siguiente esquema.



Figura 14 Partes de un módulo Peltier. (Llamas, 2016)

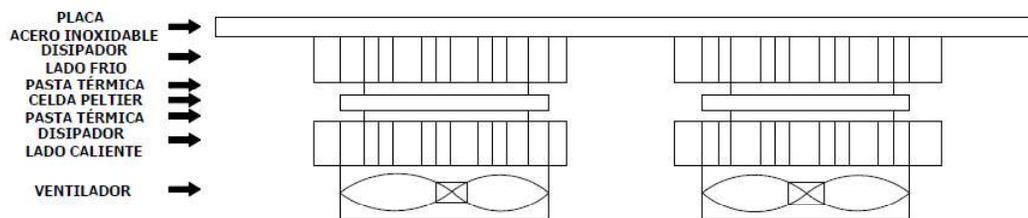


Figura 15 Distribución de los componentes necesarios para montar un módulo Peltier.

Como podemos observar en la distribución de los componentes tenemos en la parte superior el lado frío la placa de acero inoxidable que tendrá contacto con los disipadores del lado frío, esta conexión es mecánica o de ser el caso también se coloca pasta térmica, hacia abajo los disipadores del lado frío son conectados por pasta térmica a la celda Peltier, del mismo modo la conexión entre el disipador del lado caliente y a celda es con pasta térmica, al final se colocará un ventilador por cada celda con el fin de aumentar el coeficiente de convección en el entorno caliente y disipar más rápido el calor al ambiente.

La batería escogida para el sistema esta escogida en base a dos principios, el primero y más importante es las condiciones de la electrónica para poder llegar a la potencia necesaria que es 12V y 24A mientras que la segunda condición es la facilidad de obtenerla en el país, tomando en cuenta este criterio se coloca la batería seca de marca FirstPower FP12240.



Figura 16 Batería Fp12240 (12V24Ah). (Caranda, 2018)

Una vez escogida la batería para el sistema de potencia es necesario realizar un análisis del módulo MOSFET necesario para esta aplicación de potencia y a su vez para el lado de control, para el lado de potencia debe mínimo soportar 12V y 12A, mientras que para el lado de control de 3.5V a 5V, que es el voltaje que maneja el Arduino, para el caso el módulo MOSFET irf540 a escoger tiene 4 canales para la aplicación requerida, las características de este módulo son:

Se utiliza estos módulos por su fácil acoplamiento y seguridad al momento de corte de energía, que nos permite utilizar en la aplicación de control de las celdas Peltier ya que presenta las siguientes características que son efectivas en gran medida.

Tabla 6 Información del módulo MOSFET de 4 canales basado en el IRF540 y sus componentes asociados.

| Especificaciones | Valores/Notas |
|----------------------------------|---|
| Voltaje máximo de control | 6 V |
| Indicador LED por canal | Presente |
| Conjunto de chips | IRF540 |
| Aislador óptico utilizado | PS2801-4 |
| Corriente máxima del interruptor | 10A (máximo absoluto 33 A con disipador de calor) |
| Voltaje máximo del interruptor | 100 V |

Una vez escogido el sistema de potencia nos enfocamos en lo necesario para el sistema de control basado en un Arduino Uno R3, por ende, tomamos como referencia 5V de señal de control, para proyectos típicos de Arduino, donde la corriente es baja, se pueden utilizar cables con calibre AWG 22 o incluso AWG 24 para distancias cortas.

Para gestionar corrientes cercanas a los 12 amperios en distancias cortas, se podría optar por emplear cables de calibre AWG 14 o incluso AWG 12 con el fin de asegurar una conducción eficiente y segura de la corriente. En caso de distancias significativas entre los dispositivos,

podría ser necesario utilizar un calibre más bajo, como AWG 10 o inferior, con el objetivo de reducir al mínimo la pérdida de voltaje.

2.2.1. Programación en LabVIEW

Una vez conectado todo el sistema según lo indicado en el diagrama general la conexión directa entre la computadora y el Arduino será un cable USB, con el fin de utilizar el software LabVIEW para realizar el control digital del sistema y evaluar el control del set point que es el indicador más importante de nuestro proyecto ya que es la temperatura deseada en la placa de acero inoxidable.

Una vez armado según el esquema expuesto anteriormente es necesario programar en Arduino y LabVIEW para ello instalamos los programas Arduino ino y LabVIEW, además de unas bibliotecas en LabVIEW de LINX para mejorar la conexión entre el Arduino y la computadora.

Vamos a utilizar el Pin 10, 12 y 13 para la conexión del módulo del termopar tipo J, mientras que los pines utilizados para el encendido de las Celdas Peltier que van direccionado al módulo MOSFET de 4 canales son 2,4,5 y 6, además utilizamos un módulo alterno MOSFET para el encendido de los ventiladores de cada módulo para las celdas Peltier, para los ventiladores utilizamos los pines 8,9.

Tomando como referencia estos datos procedemos a realizar el programa en LabVIEW mostrad a continuación basado en un set point que direcciona el encendido de los módulos y ventiladores del sistema.

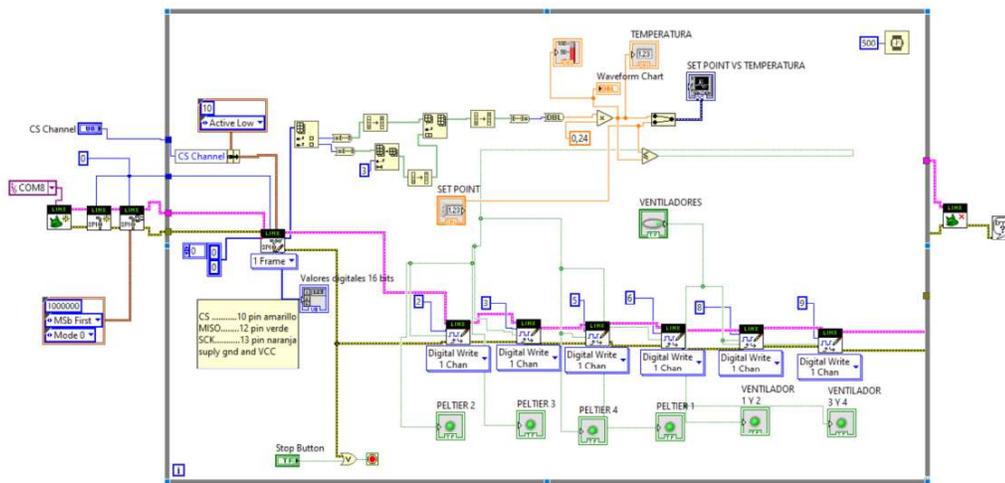


Figura 17 Programación en LabVIEW

Una herramienta útil de LabVIEW es la creación de una ventana interactiva con el usuario que nos muestra valores útiles tanto para el programador como para el usuario, se observa el puerto donde está conectado el Arduino, el Pin donde está conectado el termopar, además de los valores digitales enviados a la computadora y el movimiento en el tiempo de la temperatura, así como la diferencia de la temperatura deseada con la temperatura obtenida por el termopar.

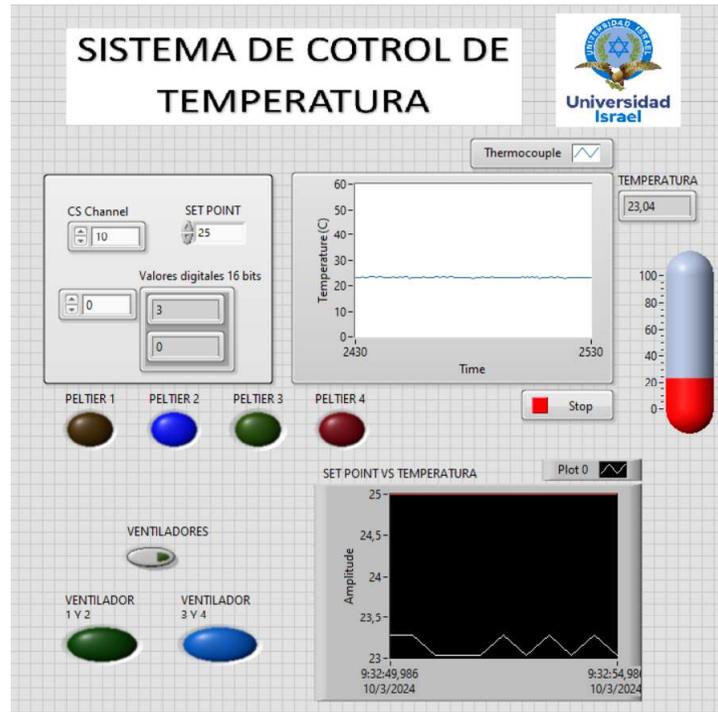


Figura 18 Interfaz en LabVIEW

2.3 Validación de la propuesta

Tabla 7 Validación de propuesta.

| Nombres y apellidos | Años de experiencia | Titulación académica | Cargo |
|-----------------------------------|---------------------|---|--|
| Luis Adrián Coloma Pérez | 1.3 | Ing. Mecánico | Operador de Unidades de Generación CELEC |
| Alison Fernanda Torres Villacres | 1 | Ing. Electrónica Automatización y Control | Ingeniera de Radio Frecuencia JR, Gibellcomm |
| Christian José Paillacho Cumbicus | 9 | Ing. Mecatrónica | Coordinador de Mantenimiento |

Criterios de valuación

Tabla 8 Criterios de evaluación.

| Criterios | Descripción |
|-------------------|---|
| Impacto | Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público. |
| Aplicabilidad | La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables |
| Conceptualización | Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada. |
| Actualidad | Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública. |
| Calidad Técnica | Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta. |
| Factibilidad | Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad. |
| Pertinencia | Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado. |

Tabla 9 Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Luis Adrián Coloma Pérez

| CRITERIOS | EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD | | | | |
|-------------------|--|---------------|--------------------------------|------------|--------------------|
| | En Total Desacuerdo | En Desacuerdo | Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo | De Acuerdo | Totalmente Acuerdo |
| Impacto | | | | | X |
| Aplicabilidad | | | | | X |
| Conceptualización | | | | | X |
| Actualidad | | | | | X |
| Calidad Técnica | | | | | X |
| Factibilidad | | | | X | |
| Pertinencia | | | | | X |

Tabla 10 Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Christian José Paillacho Cumbicus

| CRITERIOS | EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD | | | | |
|-------------------|--|---------------|--------------------------------|------------|--------------------|
| | En Total Desacuerdo | En Desacuerdo | Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo | De Acuerdo | Totalmente Acuerdo |
| Impacto | | | | X | |
| Aplicabilidad | | | | | X |
| Conceptualización | | | | X | |
| Actualidad | | | X | | |
| Calidad Técnica | | | | X | |
| Factibilidad | | | | X | |
| Pertinencia | | | | | X |

Tabla 11 Escala de evaluación. Elaborada por: Ing. Alison Fernanda Torres Villacres

| CRITERIOS | EVALUACION SEGUN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD | | | | |
|-------------------|--|---------------|--------------------------------|------------|--------------------|
| | En Total Desacuerdo | En Desacuerdo | Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo | De Acuerdo | Totalmente Acuerdo |
| Impacto | | | | X | |
| Aplicabilidad | | | | X | |
| Conceptualización | | | | | X |
| Actualidad | | | | | X |
| Calidad Técnica | | | | X | |
| Factibilidad | | | | X | |
| Pertinencia | | | | | X |

2.4 Matriz de articulación de la propuesta

En la presente matriz se sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados.

Tabla 12 Matriz de articulación

| Ejes o partes principales del proyecto | Breve descripción de los resultados de cada parte | Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto | Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon |
|---|--|---|---|
| 1 Definir los equipos electrónicos utilizados para automatizar el sistema de refrigeración. | 2.1 Fundamentos aplicados 2.1.8. Selección de la celda Peltier. 2.1.10.3. Sensor de Temperatura 2.1.9. Selección de la fuente de energía. | Diseño Térmico Fundamentos de electrónica | Método de transferencia de calor. Módulos electrónicos prefabricados |
| 2 Realizar la programación en Arduino y LabVIEW en base a los parámetros de funcionamiento. | 2.2.1. Programación en LabVIEW | Programación de microcontroladores Programación de Arduino Programación de LabVIEW | Programa Arduino ino. Programa LabVIEW Programa Matlab. |
| 3 Validar que el funcionamiento del equipo este correcto en base de los parámetros de funcionamiento del equipo. | 2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión. | Cableado del sistema Conexión de Módulos Sistema de Identificaciones de ecuaciones de tercer grado. Constantes PID | PID Tuner de Matlab Sistema de Identificaciones en Matlab |

2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

Con el objetivo de analizar el funcionamiento del sistema de regulación de temperatura en base de una temperatura deseada por el usuario que denominaremos set point, una vez armado el sistema de control se tomaron los datos regulando el sistema a varias temperaturas, al final se obtuvo datos de temperatura relacionados a la señal dirigida al MOSFET que sería booleana, es decir alta o baja, como utilizamos el Arduino como el controlador de señal, el voltaje de esta señal varía ente 0V y 5 V, por ende cada señal tiene su respectiva temperatura, una vez obtenidos estos datos en Excel los exportamos a Matlab para colocarlos en un sistema de identificación de datos con el fin de plantear Ecuaciones de Tránsito que serán de utilidad para un sistema matemático, con estas ecuaciones ingresaremos al PID tuner y obtenemos las constantes del PID y poder utilizarlas en la programación en LabVIEW para mejorar el control de la temperatura.

Para poder utilizar el LabVIEW como un sistema de recolección de datos utilizamos unas herramientas de Excel que entregaba la señal y la temperatura y los almacenaba en una hoja de Excel.

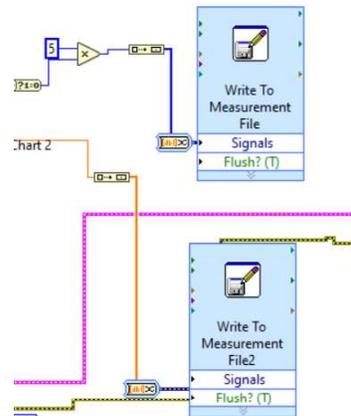


Figura 19 Se muestra las dos herramientas para recolección de datos en Excel.

Cuando teníamos todos los datos tomados por el sistema, los exportamos en Excel con el objetivo de utilizarlos en Matlab para la generación de la ecuación de transferencia, creamos un script en Matlab con el nombre importaciones y escribimos el siguiente programa para la importación de datos.



Figura 20 Script de importación de datos en Matlab.

Al correrlo se crea dos matrices que nos permitirán utilizar el siguiente comando, en la ventana de comandos colocamos ident para poder abrir la ventana de Sistema de Identificación de Matlab, al ingresar creamos funciones de transferencia tomando como parámetros el número de polos y ceros presentes en la función de transferencia.

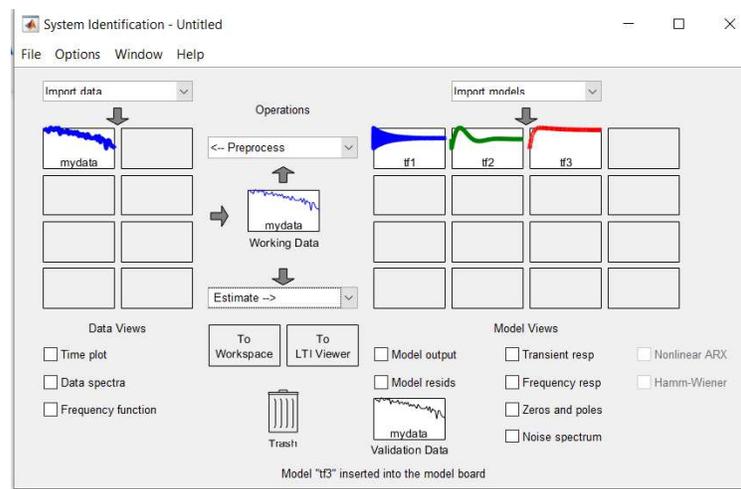


Figura 21 Sistema de identificación de datos para la obtención de la función de transferencia.

Para el caso explicado analizamos tres opciones variando el parámetro de ceros de 2,3,4, mientras que el número de polos lo mantuvimos en 4 obteniendo los siguientes resultados.

```

From input "u1" to output "y1":
      1.076e-05 s + 5.706e-07
-----
s^4 + 0.04929 s^3 + 0.002075 s^2 + 2.356e-06 s + 9.688e-08

Name: tf2
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
  Number of poles: 4   Number of zeros: 1
  Number of free coefficients: 6
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 91.46% (stability enforced)

```

Figura 22 Número de Polos: 4 y número de ceros:1, Caso 1 Estimación 91.46%

```

From input "u1" to output "y1":
      -0.0259 s^2 + 7.296e-05 s + 1.166e-06
-----
s^4 + 2.308 s^3 + 0.02285 s^2 + 9.119e-05 s + 2.253e-07

Name: tf4
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
  Number of poles: 4   Number of zeros: 2
  Number of free coefficients: 7
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 92.42% (stability enforced)

```

Figura 23 Número de Polos: 4 y número de ceros:2, Caso 2 Estimación 92.42 %

```

From input "u1" to output "y1":
      -0.01829 s^3 - 0.01333 s^2 - 0.0003171 s + 2.002e-07
-----
s^4 + 0.635 s^3 + 0.02185 s^2 + 0.0001689 s + 1.897e-07

Name: tf6
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
  Number of poles: 4   Number of zeros: 3
  Number of free coefficients: 8
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 94.13% (stability enforced)

```

Figura 24 Número de Polos: 4 y número de ceros:3, Caso 2 Estimación 94.13 %

Una vez analizado las tres opciones más viables para el control de PID, utilizaremos el caso tres para ingresar a PID tuner y encontrar los parámetros el PID.

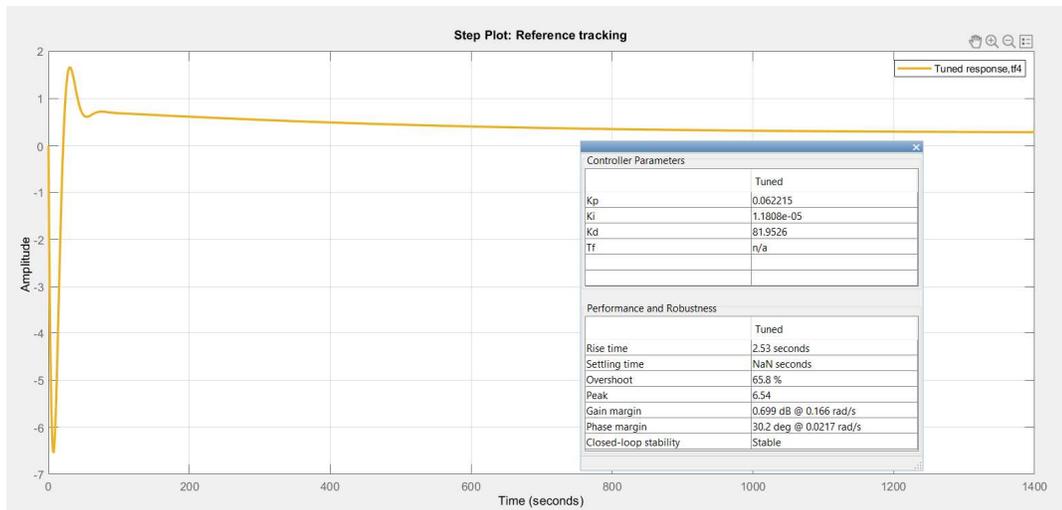


Figura 25 Parámetros obtenidos del PID tuner para el caso 3.

Con estos parámetros obtenidos porcentual, derivativo e integrativo, lo que hacemos es ingresar en el programa de LabVIEW el módulo de PID para poder controlar la temperatura y compararla con el sistema sin el control PID.

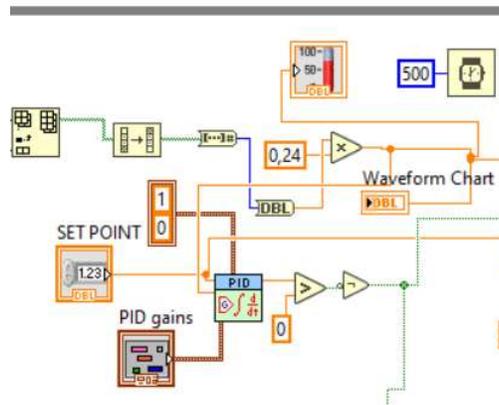


Figura 26 Colocación del módulo PID en el sistema de control en LabVIEW.

Una vez colocado en el control procedemos a comparar los datos antes y después del PID para mejorar el control de temperatura en el sistema.

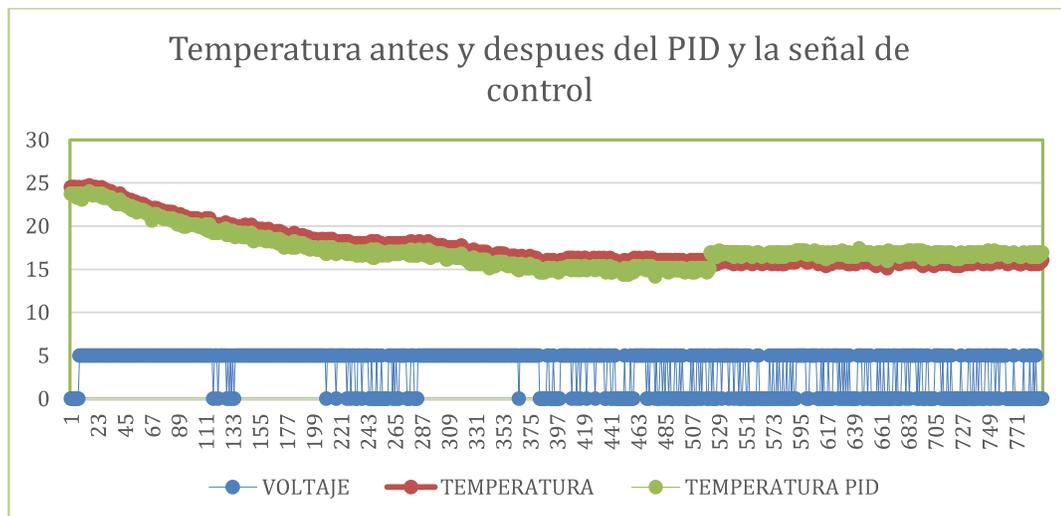


Figura 27 Comparación de la señal de control en las temperaturas antes y después del PID.

La razón por la que no se observa gran cambio entre las dos mediciones de temperatura es simple, ya que el sistema que utilizamos maneja un módulo MOSFET de pulsos, el control del mismo está regido por este sistema, es decir que la señal tanto cuando hay alto y bajo en la programación genera pequeños picos de disminución de la temperatura ya que se acciona las celdas Peltier, per a su vez son cambios leves que cumplen su objetivo al final, el cual es reducir la temperatura y mantenerla en el set point que el usuario escoge.

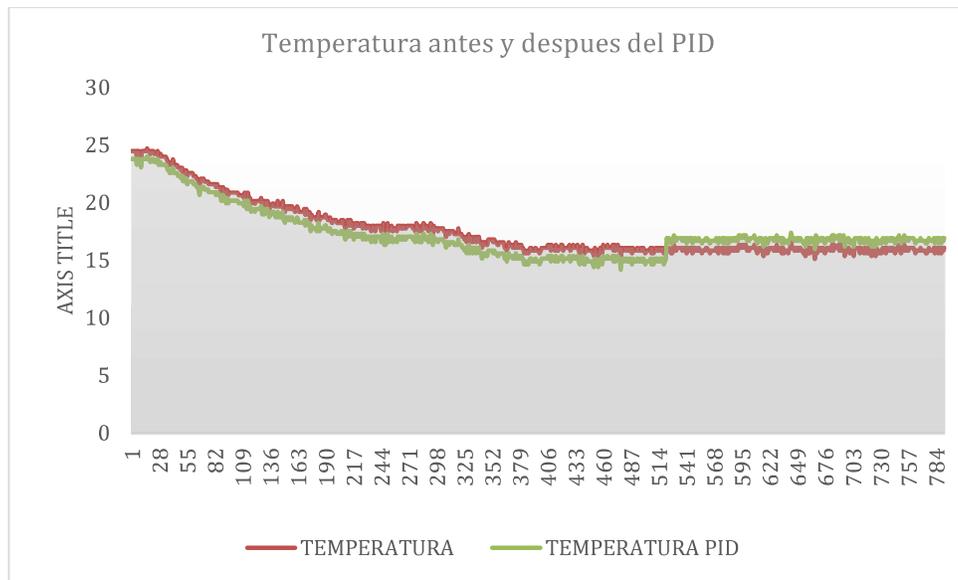


Figura 28 Comparación de temperaturas.

Un problema que obtuvimos en el sistema es que el cambio de temperatura es un poco más tenue en el PID, es decir cuando se inicializa el proceso genera un prendido y apagado direccionado, es decir que no es necesario que llegue a temperatura deseada para prender y apagar las celdas, mientras que en el sistema de programación inicial genera un prendido de las celdas Peltier por bastante tiempo hasta llegar al set point, pero lo que percibimos en la experimentación es el comportamiento tan parecido de los dos sistemas cuando se llega a la temperatura deseada, en este caso se prende y apagan las celdas de forma más estable logrando mantener la temperatura deseada en el sistema y evitar el recalentamiento del mismo.

Como un futuro proyecto subsecuente a esta investigación es la implementación de más funciones de trasferencia para poder compararlas entre ellas y así obtener la programación más eficiente para el sistema, incluso podemos realizar programas PID en base a diferentes rangos de temperatura.

CONCLUSIONES

La implementación de los equipos señalados para el control de temperatura en su mayoría fue escogida de forma correcta, mientras que la fuente de energía tuvo deficiencia por el amperaje dado y además los módulos Peltier conseguidos solo pueden disipar 60 W.

La validación del funcionamiento con Arduino tuvo ligeros problemas en su compatibilidad con LabVIEW y los sensores al programar Arduino con lenguaje C y vincularle con LabVIEW, además de su retardo grave en la señal de salida, por ende, se optó por instalar la herramienta LINX con el fin de reducir el retardo y mejorar el sistema.

La decisión de utilizar Arduino y LabVIEW como entornos de desarrollo implica la integración de control a nivel de hardware junto con una interfaz gráfica para el usuario, capitalizando las ventajas específicas de cada plataforma lo que facilitó de la mano de Matlab la obtención de resultados de forma eficaz.

Una vez realizada la investigación se obtiene los parámetros adecuados para utilizar el equipo, el parámetro clave es la temperatura deseada por el usuario denominado set point para que el sistema funcione.

RECOMENDACIONES

Se aconseja revisar y mejorar la selección de la fuente de energía, considerando el amperaje necesario para garantizar un funcionamiento adecuado de los módulos Peltier, especialmente si la capacidad de disipación está limitada a 60 W. Es esencial asegurar una fuente de energía que sea compatible con los requisitos del sistema.

Se sugiere considerar la implementación de la herramienta LINX para mejorar la compatibilidad entre Arduino y LabVIEW, reducir el retardo en la señal de salida y solucionar problemas de programación. La adopción de LINX puede mejorar significativamente la eficiencia del sistema y su integración entre los dos entornos de programación.

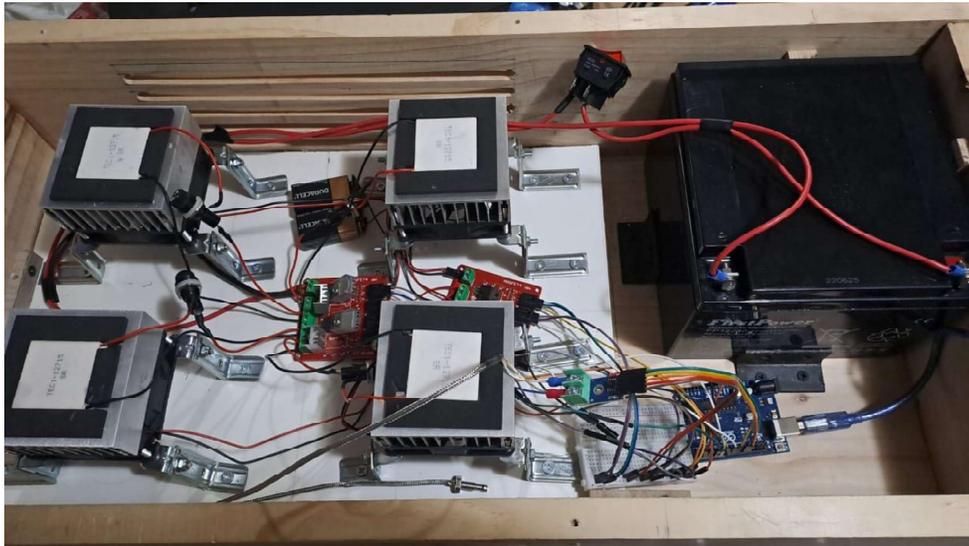
Dada la elección de Arduino y LabVIEW como plataformas de desarrollo, se aconseja continuar aprovechando las fortalezas específicas de cada plataforma. Esto implica hacer uso de la interfaz gráfica de LabVIEW para facilitar la interacción del usuario y utilizar Arduino para el control a nivel de hardware. También se sugiere explorar la integración con Matlab para obtener resultados de manera eficiente.

Se aconseja la atención detallada a los parámetros y la recopilación de datos para optimizar y personalizar el sistema de control de temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

- Calderon, E. (26 de 04 de 2020). *Polo del conocimiento*. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiSvMKp_eqEAXqfjABHVTSCBQQFnoECA8QAQ&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F7398382.pdf&usg=AOvVaw2hFWCjqp-p1P43UcF8P9_n&opi=89978449
- Caranda. (2018). *Caranda*. Obtenido de Caranda: <https://www.caranda.ro/wp-content/uploads/2018/01/FP12240.pdf>
- Caranda. (2020). *Caranda org*. Obtenido de <https://www.caranda.ro/wp-content/uploads/2018/01/FP12240.pdf>
- Cóndor, D. (2019). *Universidad Israel*. Obtenido de Repositorio Universidad Israel: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2089/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2019-041.pdf>
- Crsitóbal, S. (2020). *Universidad de Sevilla*. Obtenido de Universidad de Sevilla: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/106933/TFG-3326-GARCIA%20SOBRINO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DeWitt, D. P., & Incropera, F. P. (s.f.). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley. Recuperado el 3 de 2 de 2024
- Ferrotec. (2016). *Ferrotec*. Obtenido de Ferrotec: <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref11/>
- Guachi, D. (2019). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Repositorio Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17198/1/2016AJIEE-21.pdf>
- Hadwaresfera. (11 de 07 de 2020). *Hadwaresfera*. Obtenido de Hadwaresfera: <https://hardwaresfera.com/articulos/que-es-celula-peltier/>
- Homotix. (2018). *Homotix*. Obtenido de https://homotix_it.e-mind.it/upld/catalogo/doc/TEC1-12715.PDF
- Incropera, F. (1996). *Fundamentos de Transferencia de Calor y Masa*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons.
- Llamas, L. (29 de 06 de 2016). *Luis Llamas Ingeniería*. Obtenido de Luis Llamas Ingeniería: <https://www.luisllamas.es/arduino-peltier/>
- Ortiz, J. (2015). *Calor y Frio*. Obtenido de Calor y Frio: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/definiciones-cop-y-eer.html>
- PROFÍSICA. (11 de 02 de 2005). *PROFÍSICA*. Obtenido de PROFÍSICA: <http://www.profisica.cl/comofuncionan/como.php?id=15>
- Romero, E. (2017). *UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA*. Obtenido de REPOSITORIO UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA:

ANEXO 3
SISTEMA ARMADO



ANEXO 4

DATA SHEET FP12240. (Caranda, 2020)

FirstPower Technology Co., Ltd.

FP12240(12V24Ah)

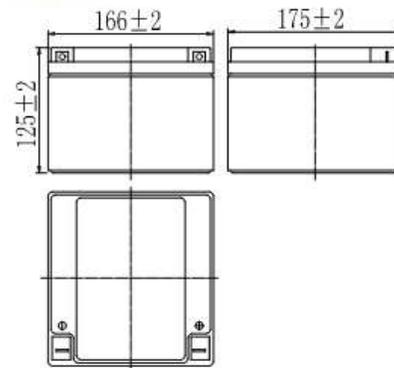
Specifications

| | | |
|--|--------------|--|
| Nominal Voltage | | 12 V |
| Capacity (25°C) | 20HR(10.5V) | 24 Ah |
| | 10HR(10.5V) | 22.3Ah |
| | 1HR(9.60V) | 15Ah |
| Dimension | Length | 166 ± 2mm (6.54inch) |
| | Width | 175 ± 2mm (6.89inch) |
| | Height | 125 ± 2mm (4.92inch) |
| | Total Height | 125 ± 2mm (4.92inch) |
| Approx. Weight | | 7.8kg (17.2lbs) ± 4% |
| Terminal type | | T3/T8 |
| Internal resistance (Fully charged, 25°C) | | Approx. 14mΩ |
| Capacity affected by temperature (20HR) | 40°C | 102% |
| | 25°C | 100% |
| | 0°C | 85% |
| | -15°C | 65% |
| Self-discharge (25°C) | 3 month | Remaining Capacity: 91% |
| | 6 month | Remaining Capacity: 82% |
| | 12 month | Remaining Capacity: 65% |
| Nominal operating temperature | | 25°C ± 3°C (77°F ± 5°F) |
| Operating temperature range | Discharge | -15°C ~ 50°C (5°F ~ 122°F) |
| | Charge | -10°C ~ 50°C (14°F ~ 122°F) |
| | Storage | -20°C ~ 50°C (-4°F ~ 122°F) |
| Float charging voltage(25°C) | | 13.60 to 13.80V Temperature compensation: -18mV/°C |
| Cyclic charging voltage(25°C) | | 14.50 to 14.90V Temperature compensation: -30mV/°C |
| Maximum charging current | | 7.2A |
| Terminal material | | Copper |
| Maximum discharge current | | 360A(5 sec.) |
| Designed floating life(20°C) | | 10years |

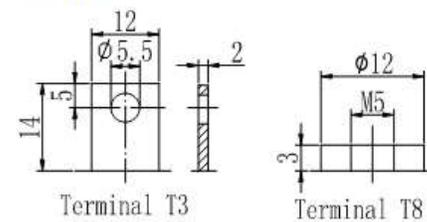
- ◆ Absorbent glass mat technology;
- ◆ Recognized by UL & CE;
- ◆ ABS container.



Dimensions



Terminal



ANEXO 5

DATA SHEET TEC1-12715. (Homotix, 2018)

Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12715

Description

The 127 couples, 50 mm × 50 mm size single module which is made of our high performance ingot to achieve superior cooling performance and 70 °C or larger delta T max, is designed for superior cooling and heating applications. Beyond the standard below, we can design and manufacture the custom made module according to your special requirements.

Features

- No moving parts, no noise, and solid-state
- Compact structure, small in size, light in weight
- Environmental friendly
- RoHS compliant
- Precise temperature control
- Exceptionally reliable in quality, high performance

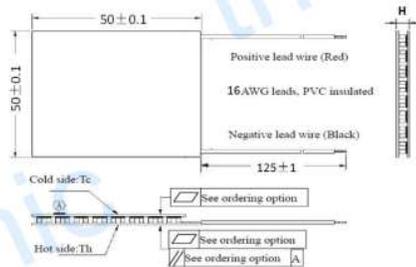
Application

- Food and beverage service refrigerator
- Portable cooler box for cars
- Liquid cooling
- Temperature stabilizer
- CPU cooler and scientific instrument
- Photonic and medical systems

Performance Specification Sheet

| | | | |
|----------------------------|-------|-------|---|
| Th (°C) | 27 | 50 | Hot side temperature at environment: dry air, N ₂ |
| DT _{max} (°C) | 70 | 79 | Temperature Difference between cold and hot side of the module when cooling capacity is zero at cold side |
| U _{max} (Voltage) | 16.0 | 17.2 | Voltage applied to the module at DT _{max} |
| I _{max} (amps) | 15.0 | 15.0 | DC current through the modules at DT _{max} |
| Q _{Cmax} (Watts) | 150.2 | 164.2 | Cooling capacity at cold side of the module under DT = 0 °C |
| AC resistance (ohms) | 0.80 | 0.88 | The module resistance is tested under AC |
| Tolerance (%) | ± 10 | | For thermal and electricity parameters |

Geometric Characteristics Dimensions in millimeters



Ordering Option

| Suffix | Thickness (mm) | Flatness/Parallelism (mm) | Lead wire length(mm) Standard/Optional length |
|--------|----------------|---------------------------|---|
| TF | 0.4.0±0.1 | 0.0.05/0.05 | 125±1/Specify |
| TF | 1.4.0±0.05 | 1.0.025/0.025 | 125±1/Specify |

Eg. TF00: Thickness 4.0 ± 0.1 (mm) and Flatness 0.05 / 0.05 (mm)

Manufacturing Options

A. Solder:

1. T100: BiSn (Melting Point=138°C)
2. T200: CuSn (Melting Point= 227 °C)

B. Sealant:

1. NS: No sealing (Standard)
2. SS: Silicone sealant
3. EPS: Epoxy sealant
4. Customer specify sealing

C. Ceramics:

1. Alumina (Al₂O₃, white 96%)(AIO)
2. Aluminum Nitride (AlN)

D. Ceramics Surface Options:

1. Blank ceramics (not metalized)
2. Metalized (Copper-Nickel plating)

Naming for the Module

TEC1-12715- X - X - X - X



TEC1-12715-T100-NS-TF00-AIO

T100: BiSn (Tmelt=138°C)

NS: No sealing

AIO: Alumina (Al₂O₃, white 96%)

TF00: Thickness ±0.1(mm) and Flatness/Parallelism: 0.05.0.05 (mm)