



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

“Viabilidad técnico económica del uso de las celdas peltier en la climatización de
tableros eléctricos para prolongar la vida útil de la aparamenta eléctrica”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Briceño Prado, Luis Francisco (ORCID: 0000-0001-6635-6382)

ASESOR:

Mg. Paredes Rosario, Raúl Rosali (ORCID: 0000-0002-3032-3527)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

TRUJILLO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a mis padres Luis Antonio Briceño Rodríguez y Rosaura Prado Lázaro, como demostración del amor y respeto por ello, agradeciendo su apoyo constante.

Luis Francisco Briceño Prado

AGRADECIMIENTO

A Dios por su compañía incondicional, brindándome paciencia y sabiduría para afrontar la vida universitaria y como persona.

A mis padres y hermana, por su apoyo y consejos constantes que me impulsaron a seguir adelante en mi vida logrando mis objetivos.

A mis docentes que compartieron sus conocimientos conmigo ayudándome a culminar la presente investigación.

Luis Francisco Briceño Prado

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1 REALIDAD PROBLEMATICA.....	11
1.2 TRABAJOS PREVIOS	12
1.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA	15
1.3.1 EFECTOS TERMOELÉCTRICOS	15
1.3.2 CELDAS PELTIER	18
1.3.3 BALANCE DE ENERGÍA EN LA CELDA PELTIER	20
1.3.4 OBTENCION DE RENDIMIENTO DE PLACAS PELTIER	25
1.3.5 APARAMENTA ELECTRICA	29
1.3.6 VIDA ÚTIL DE LA APARAMENTA ELECTRICA	40
1.3.7 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PARA PROLONGAR LA OPERATIVIDAD DEL SISTEMA	45
1.3.8 PROLONGAR EL PERIODO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA	46
1.3.9 COMPONENTES QUE LIMITAN LA VIDA ÚTIL DE UN DISPOSITIVO ELECTRONICO	49
1.3.10 GESTIÓN TÉRMICA	53
1.3.11 HERRAMIENTAS INFORMATICAS	54
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	56
1.5 JUSTIFICACIÓN	56
1.6 HIPÓTESIS.....	56
1.7 OBJETIVO GENERAL.....	56
1.8 OBJETIVOS ESPECIFICOS	57
II MÉTODO	58
2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	58
2.2 VARIABLES	60
2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA:	68

2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:	68
III RESULTADOS.	70
IV. DISCUSIÓN	124
V. CONCLUSIONES	130
VI. RECOMENDACIONES	132
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	133
ANEXOS	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de efecto Seebeck.	15
Figura 2. Esquema de Efecto Peltier	15
Figura 3. Esquema de Efecto Thomson	16
Figura 4. Esquema de Efecto Fourier.....	16
Figura 5. Componentes de una celda peltier	18
Figura 6. Esquema de asociación de celdas peltier en serie y paralelo	19
Figura 7. Balance de calor de una celda Peltier	20
Figura 8. Gráfico de rendimiento estándar en Función a la tensión de alimentación.....	25
Figura 9. Gráfico de potencia Frigorífica en Función a la tensión de alimentación.....	26
Figura 10. Gráfico de potencia Frigorífica en Función a la Diferencia de Temperaturas.....	26
Figura 11. Gráfico de coeficiente de Rendimiento en Función de la tensión de Alimentación.	27
Figura 12. Interruptor Seccionador	29
Figura 13. Contactor Tripolar.....	30
Figura 14. Interruptor termomagnético tripolar	30
Figura 15. Interruptor diferencial trifásico + N.....	31
Figura 16. Fusible NH.....	31
Figura 17. Guardamotor Tripolar	32
Figura 18. Analizador de Redes	32
Figura 19. Indicador de temperatura y sonda de medida	33
Figura 20. Indicador de RPM (revoluciones por minuto)	33
Figura 21. Contactores de potencia	34
Figura 22. Relés de Estado Sólido	34
Figura 23. Temporizadores electrónicos	35
Figura 24. Relés de monitoreo y control de líneas trifásicas.....	35
Figura 25. Módulo controlador de Temperatura y Sensor pt100.	36
Figura 26. Fuentes de Alimentación	36
Figura 27. Arrancadores de Estado Sólido.....	37
Figura 28. Variadores de Velocidad.....	37
Figura 29. Controlador Lógico Programable, Logo	38

Figura 30. Condensadores electrónicos.....	39
Figura 31. Condensadores para corrección del factor de potencia.....	39
Figura 32. Bobina de filtrado de Armónicos.....	40
Figura 33. Circuito Integrado dañado por excesiva tensión.....	41
Figura 34. Hueco formado por electro migración.....	41
Figura 35. Fallo en el dispositivo por corte de corriente.....	42
Figura 36. Puente entre 2 pistas conductoras formando un cortocircuito.	42
Figura 37. Tarjeta electrónica de Variador de Velocidad 400kw contaminado con polvo de carbón....	44
Figura 38. Corrosión en tarjeta electrónica de PLC.	44
Figura 39. Presencia de sulfato en conector / identificación de pin de soldadura desintegrado luego de la limpieza.	44
Figura 40. Tipos de Periodos de operación y periodos de Falla / Reparación	45
Figura 41. Optimización del índice de funcionamiento	46
Figura 42. Capacidad Nominal y Derating.....	47
Figura 43. Entorno de Instalación para dispositivos electrónicos	48
Figura 44. Puesta a tierra independiente.	48
Figura 45. Vida útil de un capacitor electrolítico de Aluminio (6000 a 8000 Hrs).....	49
Figura 46. Influencia de la temperatura en la Vida útil del condensador electrolítico de Aluminio.....	49
Figura 47. Influencia de la temperatura en la Vida útil de las baterías OPzV.....	50
Figura 48. Problemas en los contactos de los Relés.....	51
Figura 49. Curvas de operación de un Fusible	52
Figura 50. Influencia de la Temperatura en el estado ON del módulo de entradas en un PLC	52
Figura 51. Vista del Programa para cálculo térmico ProClima 7.1.....	54
Figura 52. Vista del Programa Logo Soft Comfort v8.	55
Figura 53. Metodología de Diseño – Diagrama de Flujo	59
Figura 54. Diagrama de caja negra.....	62
Figura 55. Diagrama de caja negra del módulo Peltier	65
Figura 56. Vista del Programa para cálculo térmico ProClima 7.1.....	72
Figura 57. Aparamenta eléctrica instalada en placa de montaje.	73
Figura 58. Aparamenta eléctrica instalada en el tablero, vista general.	73
Figura 59. Potencia disipada de la aparamenta instalada en la placa, 58 watts.....	75
Figura 60. Potencia disipada de la aparamenta instalada en el panel, 4 watts.	76
Figura 61. Comportamiento Térmico del Tablero.....	78
Figura 62. vista superior del tablero eléctrico	79
Figura 63. Cálculos de las superficies efectivas de disipación de potencia en función del montaje del tablero.....	80
Figura 64. Dimensiones del Disipador de Aluminio para la cara interior Fría del Módulo Peltier.....	83
Figura 65. Dimensiones del Disipador de Aluminio para la cara Exterior Caliente del Módulo Peltier.	84
Figura 66. Instalación de Celdas Peltier sin disipadores	86
Figura 67. Instalación de Celdas Peltier con disipador en la cara caliente	87
Figura 68. Instalación de Celdas Peltier con disipador en ambas caras	87
Figura 69. Instalación de Celdas Peltier con disipador en ambas caras y refrigeración por agua de la cara caliente.....	88

Figura 70. Instalación de Celdas Peltier con disipador en ambas caras y refrigeración por agua de la cara caliente y ventilador en la cara fría.....	88
Figura 71. Instalación de Celdas Peltier con disipador en ambas caras y ventilación Forzada.....	89
Figura 72. Comportamiento Térmico del Tablero con El módulo Peltier.....	90
Figura 73. Diagrama de Agrupación de Elementos	91
Figura 74. Diagrama de Control del Módulo	92
Figura 75. Tablero y Aparallaje utilizado en el ensamble del cuadro eléctrico.	93
Figura 76. Tablero y Aparamenta Instalada.	94
Figura 77. Dimensiones de la celda Peltier 40x40mm y 3.3mm de espesor	95
Figura 78. Medida del disipador: Base, 33cm.....	95
Figura 79. Medida del disipador: Ancho, 21cm y 34 aletas.....	95
Figura 80. Medida del disipador: Espesor de Núcleo Central, 13mm.....	96
Figura 81. Medida del disipador: Altura de Aletas, 46mm y Ancho de Aletas, 2.6mm	96
Figura 82. Preparación de Superficie	96
Figura 83. Medida del disipador: Ancho, 9.5 cm y Base, 18cm	97
Figura 84. Medida del disipador: Espesor de Núcleo Central, 13 mm.....	97
Figura 85. Medida del disipador: Altura de Aletas, 44mm y Ancho de Aletas, 1mm	97
Figura 86. Instalación de Celdas Peltier sobre disipadores	98
Figura 87. Ensamblaje de los 2 disipadores y las celdas Peltier.	98
Figura 88. Modulo termoelectrico preparado para realizar ensayos de funcionamiento.....	98
Figura 89. Módulo Termoelectrico instalado con el termo anemómetro.	100
Figura 90. Termo grama del módulo.....	100
Figura 91. Termo grama del Tablero eléctrico.....	101
Figura 92. Termo grama de los controles de Temperatura ubicados en el panel del tablero.	102
Figura 93. Termo grama del micro PLC y el conversor A/mA.....	102
Figura 94. Termo grama de los relés enchufables de control.....	103
Figura 95. Termo grama del módulo termo eléctrico. A la izquierda las temperaturas iniciales y a la derecha la temperatura luego de 8 min de funcionamiento.....	103
Figura 96. Gráfico de temperatura con respecto al tiempo de la placa Fría.....	104
Figura 97. Gráfico obtenido del Termo anemómetro AMPROBE TMA40-A instalado en el disipador de la cara caliente del módulo.	105
Figura 98. Termo anemómetro instalado a la salida de aire del disipador de cara caliente.	106
Figura 99. Módulo de Climatización Instalado en Tablero Eléctrico	107
Figura 100. Gráfico obtenido del Termo anemómetro AMPROBE TMA40-A al interior del Tablero Eléctrico	108
Figura 101. Diagrama de Bloques del consumo de energía del Sistema.....	109
Figura 102. Diagrama de Sankey del Sistema Termoelectrico	109
Figura 103. Curvas de Rendimiento COP/V	112
Figura 104. Curvas potencia de disipación en función de DT y V.....	112
Figura 105. Desarrollo de eventos durante el primer año de producción.....	114
Figura 106. Equipos intervenidos en el primer año de producción.....	114
Figura 107. Desarrollo de eventos durante el segundo año de producción.	115
Figura 108. Elementos que fueron intervenidos durante el segundo año de producción	115

Figura 109. Desarrollo de eventos durante el tercer año de producción.	116
Figura 110. Elementos que fueron intervenidos durante el tercer año de producción	116
Figura 111. Diagrama de Costes Totales Frente al tiempo de funcionamiento (Refrigeración)	121

RESUMEN

En el estudio de la “Viabilidad técnico-económica del uso de las celdas Peltier en la climatización de tableros eléctricos para prolongar la vida útil de la aparamenta eléctrica” se analizó la aplicación del efecto termoeléctrico en controlar la temperatura dentro de un tablero con un volumen fijo de aire con la finalidad de mantener las condiciones adecuadas en temperatura y humedad evitando el deterioro prematuro de los componentes internos.

Se identificó las variables que determinan la vida útil de la aparamenta eléctrica. Se determinó la carga térmica que contiene un Tablero eléctrico con sus elementos de potencia y Control utilizando como herramienta de apoyo el software ProClima 7.1 de Schneider Electric, que en base al tipo de dispositivo utilizado indica la potencia de disipación. Se investigó el efecto termoeléctrico de la “celda Peltier” e interpretó la ficha de datos que determina la eficiencia frigorífica del modelo TEC1-12715, que servirán para dimensionar la cantidad de celdas requeridas, realizar el modelo y diseñar prototipo a fabricar. Como herramientas e instrumentos de análisis térmico se utilizó una cámara Termográfica Flir, un termo anemómetro Amprobe TMA40-A, Controles de Temperatura con señal de salida analógica a 4-20mA. Las señales fueron recibidas por el módulo Lógico Logo v8 mediante el cual se realizó un programa que controla la secuencia de funcionamiento del prototipo en función de las temperaturas configuradas. Se Aplicó los ensayos y recolección de datos a un tablero con aislamiento de 3mm y se obtuvo que, para reducir la temperatura de 29°C alcanzados al interior del tablero luego de 1 hora de funcionamiento, se necesitó una potencia frigorífica de 182.19 W obtenidos del módulo Peltier. El COP llegó a 0.6 cuando se redujo la tensión de alimentación a 10 VDC y la diferencia de temperatura entre sus caras a 30°C. Al interior del tablero se reduce la temperatura y humedad debido a que el agua es condensada en el dispositivo fabricado y es atrapado por un material higroscópico, reduciendo las fallas por corrosión, puntos calientes y polución. Los costos de fabricación, instalación, mantenimiento y reparación son bajos en comparación de otros sistemas, aunque los costos operativos son mayores, las ventajas en cuanto a la reducción del índice de fallas por mala gestión térmica compensan la necesidad de recurrir a los costes por mantenimiento del tablero y parada de la producción.

Palabras clave: Celdas Peltier, climatizador, tablero eléctrico, aparamenta eléctrica, gestión térmica.

ABSTRACT

In the study of the "Technical-economic viability of the use of the Peltier cells in the air conditioning of the electrical panels to prolong the useful life of the electrical switchgear" the application of the thermoelectric effect in the control of the temperature within the a board with a volume The air system is configured to facilitate the maintenance of internal conditions.

The variables of determination of the useful life of the electrical switchgear. The thermal load contained in an electrical panel with its power and control elements was determined as a support tool by Schneider Electric's ProClima 7.1 software, which is based on the type of device that indicates the dissipation power. The thermoelectric effect of the "Peltier cell" was investigated and the data sheet that determines the cooling efficiency of model TEC1-12715 was interpreted, which will serve to size the number of cells required, make the model and the prototype to be manufactured. As tools and instruments for thermal analysis, it is a Thermographic Flir chamber, an Amprobe thermo-anemometer TMA40-A, temperature controls with an analog output signal at 4-20mA. The signals were received by the Logic Logo v8 module by means of which a program was carried out that controls the sequence of operation of the prototype based on the set temperatures. The tests and the data collection were applied to a board with a 3 mm insulation and it was obtained that, to reduce the temperature to 29 ° C, they reached the inside of the board after 1 hour of operation, a cooling capacity of 182.19 W part of the peltier module. The COP reached 0.6 when the supply voltage was reduced to 10 VDC and the temperature difference between its faces at 30 ° C. Inside the board the temperature and humidity are reduced because the water is condensed in the device manufactured and is trapped by a hygroscopic material, reducing faults by corrosion, hot spots and pollution. The costs of manufacturing, installation, maintenance and repair are low compared to other systems, although the services are greater, the advantages in terms of reducing the failure rate due to poor thermal management and the need to resort to maintenance costs. production board and stop.

Keywords: Peltier, air conditioning, electrical panel, switchgear, thermal management.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

El uso de equipamiento para la climatización de tableros eléctricos en la industria está tomando cada vez mayor importancia, esto es, debido a que se están incorporando componentes eléctricos y electrónicos en el control de los procesos productivos, y deben estar preparados para operar en ambientes que pueden alterar su correcto funcionamiento y reducir su vida útil. La temperatura y la Humedad son parámetros que deben estar en un rango adecuado; indicado por el fabricante. La mayoría son Protegidos dentro de envolventes como gabinetes y tableros que los mantienen totalmente cerrados pero expuestos a elevadas temperaturas por no contar con sistemas de ventilación y refrigeración.

Con frecuencia en los lugares donde la gestión térmica de los tableros es prescindida, los cuadros eléctricos tienen poca ventilación, alta polución y humedad condensable. Los tableros instalados en estas condiciones provocan que los elementos como los interruptores termomagnéticos, variadores de frecuencia, arrancadores de estado sólido, controladores lógicos programables, entre otros equipos electrónicos tengan activaciones involuntarias de sus protecciones térmicas además de ser propensos a presentar fallas inesperadas afectando los procesos productivos y ocasionando importantes pérdidas económicas.

Idealmente los tableros deben contar con estos sistemas de climatización, pero implicaciones como el tamaño, mantenimiento y precio hacen que sea una decisión alternativa. Para ello se propone incorporar a la climatización de tableros dispositivos que sean compactos, libres de mantenimiento y asequibles. Estas características describen precisamente a las Celdas Peltier como elementos capaces de cubrir esta necesidad. Por lo tanto, en esta investigación se demostrará la viabilidad de las celdas Peltier para la climatización de tableros eléctricos.

1.2 TRABAJOS PREVIOS

Una alternativa para sistemas de enfriamiento con base a semiconductores y al aprovechamiento de un efecto termoeléctrico como es el Peltier. El cual se caracteriza por la aparición de una diferencia de temperaturas entre las dos caras de un semiconductor cuando por él circula una corriente. Su constitución es la unión de 2 materiales, el Bismuto para la cara del semiconductor tipo P y Telurio para la cara tipo N (**Sandoval et al., 2008**).

La idea que nos brinda respecto a la fuente de alimentación con la que trabajará la celda Peltier será de corriente continua y por lo tanto se considera un elemento más que se incluiría dentro del paquete para el acondicionamiento de este sistema de climatización.

Además de tener en cuenta que los materiales con los cuales se fabrican son el Bismuto y el Telurio que presentan su temperatura de fusión a 271°C Y 450°C respectivamente, la manipulación con elementos que se aproximen a estas temperaturas alteraría su óptimo funcionamiento incluso dejarlos inoperativos. Por ser un elemento semiconductor son compactos y tienen una alta densidad de disipación de potencia por lo que requeriría en su montaje con disipadores de aluminio de ventilación forzada para controlar sus niveles de temperatura a un rango seguro.

El Control de Temperatura Basado en el Efecto Peltier para Estudios de Mecanismos de Formación Molecular Mediante Espectroscopía Infrarroja. Muestran los siguientes comportamientos de la celda Peltier durante la investigación:

“39 minutos después de iniciado el proceso, se alcanza la mayor diferencia de temperatura entre ambas caras con un $\Delta T = 33$ °C. Para voltajes mayores, como 5 y 6 voltios, el súbito decremento de temperatura en la cara fría de la celda provoca condensación de agua en su superficie. Además, también se observa que la variación de temperatura producida por un voltaje de polarización en la celda y el siguiente nivel de polarización oscila entre 5 y 10 grados centígrados” (**Cabrera et al., 2009**).

La condensación de agua producida por el descenso brusco de la temperatura en una de las caras de la celda se tendrá en cuenta para tomar las medidas que eviten la interacción con los dispositivos instalados dentro del tablero. Siendo peligroso para el aislamiento de las partes más

vulnerables dentro de ella como son las placas electrónicas y aquellas que presenten niveles de tensión y frecuencia elevadas.

Otra aplicación del efecto Peltier es en la Implementación como fuentes térmicas de calor residuales, para el aprovechamiento de la energía eléctrica y climatización por frío en la vivienda. Comentan que se siguen efectuando investigaciones a partir de prototipos con diferentes modelos de ensamblaje que podrían resultar interesantes en la medida que se piense en reemplazar los compresores utilizados desde hace mucho tiempo atrás, que emplean fluidos frigoríficos a base de compuestos de flúor y de cloro que atacan a la capa de ozono;

Además, como se mencionó anteriormente, se sigue imponiendo la ventaja que ofrecería el desarrollo de un equipo compacto que al no poseer partes móviles eliminaría los ruidos y las vibraciones, y posiblemente los costos de mantenimiento a corto Plazo (**Flores y Vargas, 2016**).

De acuerdo con las investigaciones realizadas para encontrar los parámetros adecuados de funcionamiento de las celdas Peltier en los sistemas de refrigeración podrían evitar el uso de los antiguos sistemas que usan elementos que contaminan el medio ambiente, así mismo, económicamente resultaría rentable debido a que se eliminarían los mantenimientos que comúnmente se vienen realizando a los equipos de refrigeración convencionales.

La incorporación de esta tecnología en el campo de la medicina también se encuentra como equipos frigoríficos para la conservación de vacunas. **Lucas (2011)** afirma: “La refrigeración termoeléctrica es menos eficiente que los sistemas por conversión, pero posee un control Preciso de la temperatura, da movilidad y Sencillez a todo el conjunto, y es amigable con el medio ambiente debido a que no genera residuos peligrosos ni utiliza gases que contaminan la capa de ozono”.

Al requerir mayor energía para su funcionamiento se tendrá que evaluar las ventajas, desventajas y justificar su aplicación si se desea realizar una instalación con estos dispositivos.

Como recomendación, antes de usar una celda Peltier, es necesario evaluar la aplicación resolviendo las siguientes interrogantes que **Ferrotec (2016)** plantea:

¿Es un sistema o un objeto lo que se debe enfriar?, ¿Cuál es el rango de temperatura a la que el sistema u objeto debe estar?, ¿Cuánta potencia disipada del sistema o el objeto debe ser retirado?

¿En cuánto tiempo debe llegar el objeto a la temperatura deseada luego de energizarlo?
¿Cuáles son las condiciones ambientales en las cuales el sistema o el objeto se encuentran para ser enfriados?, ¿Cuáles son las temperaturas extremas a las que se podría exponer el objeto o el sistema?, ¿Cuál es el espacio que se tiene para la instalación de la celda y de sus accesorios de disipación?, ¿Con qué fuente de corriente se alimentará?, ¿Se controlará la temperatura de enfriamiento?, Luego de responder estas interrogantes será posible seleccionar la célula Peltier que responda con la mayor eficiencia posible a la aplicación requerida.

En el ámbito automotriz, se realizó una investigación del comportamiento de un sistema termoeléctrico frente al de uno convencional por compresión, realizada por **Muñoz (2012)**. Determinando que, debido al limitado desarrollo de los semiconductores para funcionar bajo las mismas condiciones estos no logran la misma eficiencia energética ni los mismos niveles de confort.

Aunque, se identificó las siguientes ventajas:

Baja inversión de fabricación, el nivel de confort deseado se logra rápidamente, liviano con respecto al otro sistema, Precisión al controlar la temperatura, bajo nivel de vibraciones y ruido (solo del ventilador), no utiliza gases refrigerantes, el sistema puede ser reversible (refrigera y calienta)

1.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

1.3.1 EFECTOS TERMOELÉCTRICOS

El efecto de la termoelectricidad tiene en correlación a voltajes y corrientes contra transferencia de Calor y Temperatura.

Se pueden identificar 3 fenómenos termoelectrónicos representativos que son:

Efecto Seebeck:

Descubierta por el físico alemán Thomas Johann Seebeck en 1821. Es una propiedad termoelectrónica inversa al efecto Peltier que provoca la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad.

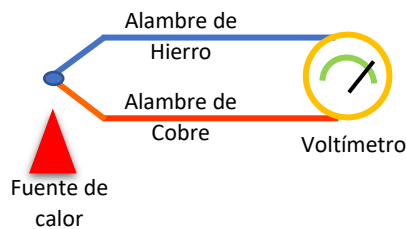


Figura 1 Esquema de efecto Seebeck.

Efecto Peltier:

Descubierta por Jean Peltier en 1834. Como principio a la creación de una diferencia de temperatura debida a un voltaje eléctrico. Se presencia cuando una corriente se hace pasar por dos metales o semiconductores (tipo N y tipo P) conectados por dos “junturas de Peltier”. La corriente propicia una transferencia de calor de una juntura a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta. Este elemento puede intercambiar su funcionamiento invirtiendo el sentido de la corriente de alimentación, es decir, la superficie que generaba frío empieza a generar calor, y la que generaba calor empieza a generar frío.

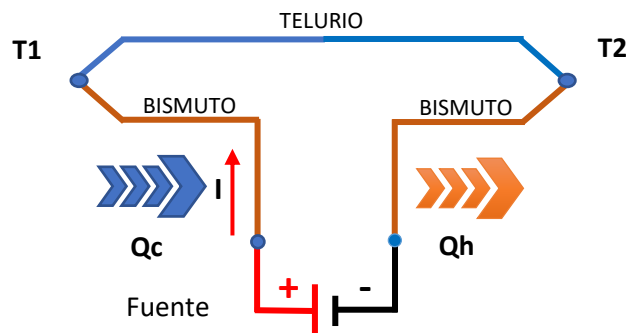


Figura 2. Esquema de Efecto Peltier

Efecto Thomson:

Descubierto por William Thompson (conocido como Lord Kelvin) en 1851. Desarrolla explicaciones detalladas de los efectos Seebeck y Peltier, y predice además la existencia de un tercer efecto termoeléctrico, hoy conocido como efecto Thomson en el cual se absorbe o emite calor cuando una corriente recorre un material en el que existe un gradiente de temperaturas.

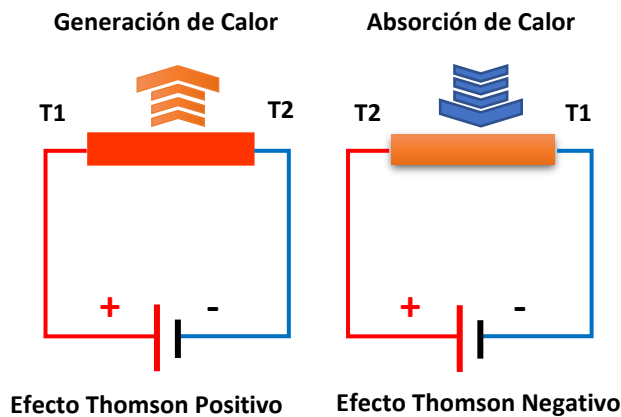


Figura 3. Esquema de Efecto Thomson

MODELOS MATEMÁTICOS

Se deben conocer los fundamentos físicos y matemáticos bajo los cuales los Dispositivos Termoeléctricos se rigen al momento de disponerse a analizarlos. Es necesario conocer cómo la diferencia de voltaje, con el calor generado, circula a través del Conductor; este mecanismo de transferencia de calor se explica mediante la Ley de Fourier que da lugar a un flujo de calor longitudinal. En la figura 4 aparece en metales de conductividad térmica K en presencia de un gradiente de temperaturas ∇T .

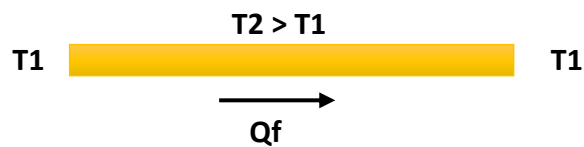


Figura 4. Esquema de Efecto Fourier

El calor que circula a través del conductor se basa en la Ley de Fourier:

$$Qf = \frac{K}{L} * Ax * \Delta T \quad \dots(1)$$

Donde la conductividad térmica propia de cada material es K , la longitud del elemento es L , el área transversal al flujo de calor es Ax y la resta entre las temperaturas de los dos extremos el gradiente es ∇T , en tales casos, las juntas donde se aplica la corriente eléctrica. Además del calor que se transmite por el efecto Fourier, es necesario conocer el calor que se genera por corriente eléctrica. El efecto Joule se enuncia mediante la ecuación:

$$Qj = I^2 * R \quad \dots(2)$$

Donde la energía calorífica producida por la corriente es Q , la intensidad de la corriente que circula es I , la resistencia eléctrica del conductor es R . En este caso, observamos que no es considerado en la ecuación el tiempo, pues se considera que es un fenómeno que está en un estado estable. De otro lado, el efecto Seebeck también tiene una fórmula matemática. Por la aparición de un potencial eléctrico, V_0 , proporcional al gradiente térmico impuesto. La constante de proporcionalidad α_{XY} y a V/K o $V/^\circ C$ se denomina coeficiente termoeléctrico.

$$V_0 = \int_{T_c}^{T_h} \alpha_{xy} * dT \quad \dots(3)$$

Las temperaturas del extremo caliente y el extremo frío son T_h y T_c , respectivamente. Sin embargo, como el efecto Peltier es el inverso del efecto Seebeck, se puede calcular por la ecuación:

$$Qp = -I^2 * T(\alpha_x - \alpha_y) \quad \dots(4)$$

La temperatura conocida es T , además, los coeficientes termoeléctricos de cada metal son α_x y α_y . Por último, se identifica el principio bajo el cual actúa el efecto Thomson. El efecto producido es la aparición de un potencial eléctrico, V_t , proporcional al gradiente térmico impuesto, que da como resultado un flujo calor qT :

Las temperaturas de las uniones de los metales son T_1 y T_2 .

$$V_t = - \int_{T_1}^{T_2} T * \frac{d\alpha}{dt} * dt \quad \dots(5)$$

$$Q_t = I * V_t \quad \dots(6)$$

1.3.2 CELDAS PELTIER

Son unos dispositivos semiconductores que, valiéndose de las propiedades de la unión de 2 materiales, como pueden ser de Teluro de Bismuto y Seleniuro de Antimonio, tipo P y otro tipo N. Presentan diferente comportamiento cuando se le induce una corriente eléctrica.

Su construcción consta de 2 caras, una de ellas dependiendo del sentido de como es alimentado el dispositivo va a enfriar y absorber calor mientras que la otra va a calentar y disipar calor.



Figura 5. Componentes de una celda peltier

Fuente: Meca Meca , Calvo Jiménez (2009)

MATERIALES TIPO N

Las propiedades de un material base como conductor pueden modificarse cuando se añaden impurezas. Cuando a un cristal de Silicio (con 4 electrones de valencia) se le añade impurezas de Arsénico (con 5 electrones de Valencia), en la estructura cristalina hay electrones que están libres y no se encuentran. Al estar débilmente ligados, cuando se le aplica una tensión, pueden trasladarse fácilmente y producir una corriente eléctrica. Los electrones ligados débilmente son considerados como portadores de carga en este material “negativamente dopado”, recibiendo el nombre de material tipo “N”.

En un material tipo N el flujo de electrones se realiza desde el polo negativo hacia el polo positivo. Porque los electrones son atraídos por el polo positivo y repelidos por el polo negativo de la fuente de energía eléctrica. (Muñoz, 2012)

MATERIALES TIPO P

En comparación al tipo N. Si a un cristal de silicio se le añade impurezas de Indio (con 3 electrones de valencia) se obtiene una estructura cristalina con “espacios”. Estos espacios son portados de carga dopados positivamente a los que se considera como material tipo P. Que facilitan el flujo de electrones al aplicarse una tensión. Su circulación va desde el polo positivo hacia el polo negativo de la fuente (Muñoz, 2012).

ESTRUCTURA INTERNA

Una característica destacable de estas celdas es su funcionamiento como actuador de funcionamiento reversible y generador eléctrico. Las placas cerámicas que están dispuestas en ambas caras llevan pistas de cobre que permiten unir los semiconductores eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo —ver figura 6—. Como generador eléctrico, para obtener un voltaje útil hace falta una diferencia de temperatura de 100 °C o más, o conectar muchas células en serie.

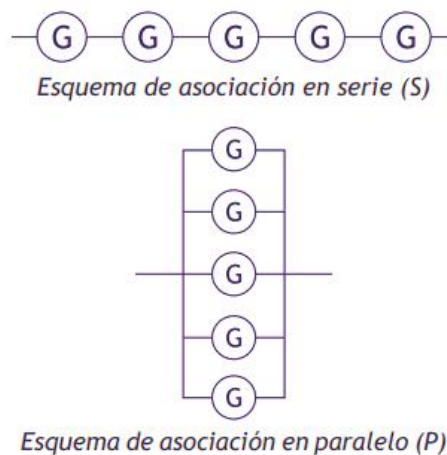


Figura 6. Esquema de asociación de celdas peltier en serie y paralelo

Fuente: Cid sarria, Rodríguez Rebelo (2012).

1.3.3 BALANCE DE ENERGÍA EN LA CELDA PELTIER

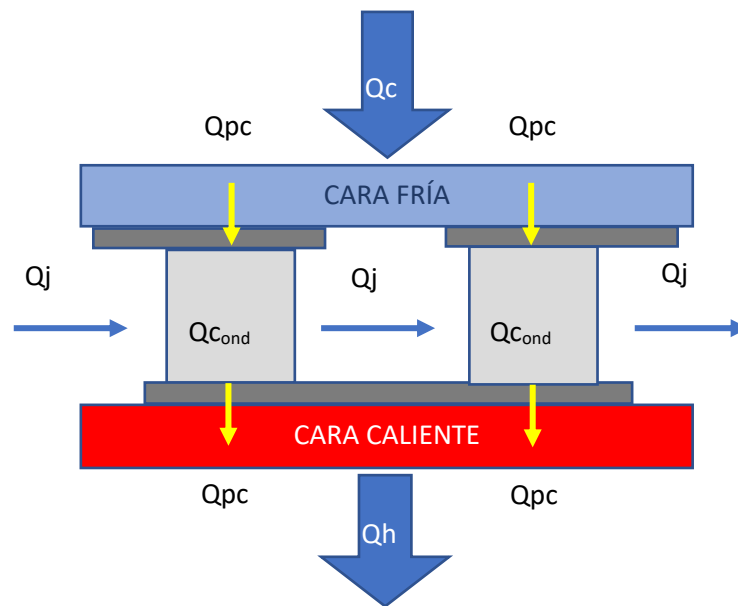


Figura 7. Balance de calor de una celda Peltier

Q_c : Calor total absorbido por la celda Peltier

Q_h : Calor total disipado por la celda Peltier

Q_{pc} : Calor absorbido por efecto Peltier en la cara Fría.

Q_{ph} : Calor disipado por efecto Peltier en la cara Caliente.

Q_{cond} : Calor generado por efecto de la conducción interna. (Parte del calor de la parte caliente vuelve a la cara fría por la diferencia de Temperatura.

Q_j : Calor generado por efecto Joule por unidad de Tiempo. (Calor generado por el nivel de corriente que calienta la celda total)

BALANCE DE CALOR EN LA CARA FRÍA

$$Q_c = Q_{pc} - Q_{jc} - Q_{condc} \quad \dots(7)$$

Donde:

Qc: Calor total absorbido por la célula Peltier en Watts (W).

Qjc: Calor Producido por efecto Joule en la cara fría por unidad de tiempo:

$$Q_{jc} = \frac{1}{2} R * I^2 \quad \dots(8)$$

Qcondc: Calor producido por efecto de la conducción interna en la cara caliente en W.

$$Q_{condc} = \frac{T_h - T_c}{R_{th}} \quad \dots(9)$$

Para:

Th: Temperatura de la cara caliente en K.

Tc: Temperatura en la cara fría en K.

Rth: Resistividad Térmica de semiconductor.

$$R_{th} = \frac{l}{\lambda_{ph} * A_{ph}} = \frac{l}{K_{ph}} \quad \dots(10)$$

Luego:

$$Q_{condc} = \frac{(T_h - T_c) * A_{ph} * \lambda_{ph}}{l} = \frac{(T_h - T_c) * K_{ph}}{l} \quad \dots(11)$$

Por lo tanto:

$$Q_c = \alpha * T_c * I - \frac{1}{2} * R * I^2 - \frac{(T_h - T_c) * A_{ph} * \lambda_{ph}}{l} \quad \dots(12)$$

α : coeficiente de Seebeck de la célula en V/K

R: Resistencia de la célula en Ω

BALANCE DE CALOR EN LA CARA CALIENTE

$$Q_h = Q_{ph} + Q_{jh} - Q_{condh} \quad \dots(13)$$

Donde:

Qh: Calor total disipado por la célula Peltier en W.

Qjh: Calor generado por Efecto Joule en la cara caliente por unidad de Tiempo. Que tiene la Expresión:

$$Qjh = \frac{1}{2} R_{pc} \cdot I^2 \quad \dots(14)$$

Qcondh: Calor generado por efecto de la conducción interna en la cara caliente en W. que aplicado al dispositivo Peltier Resulta:

$$Qcondh = \frac{T_h - T_c}{R_{th}} \quad \dots(15)$$

Donde:

Th: temperatura de la cara caliente en K

Tc: Temperatura de la cara Fría en K

Rth: Resistividad térmica de semiconductor en K/w

Luego se tiene que:

$$Qcondh = \frac{(T_h - T_c) \cdot A_{pc} \cdot \lambda_{pc}}{l} = \frac{(T_h - T_c) \cdot K_{pc}}{l} \quad \dots(16)$$

El balance de calor de la cara caliente queda, por lo tanto:

$$Qh = \alpha \cdot Th \cdot I + \frac{1}{2} R \cdot I^2 - \frac{(T_h - T_c) \cdot K_{pc}}{l} \quad \dots(17)$$

POTENCIA TERMICA DE LA CELULA

$$P_t = Q_h - Q_c = \alpha \cdot I \cdot (T_h - T_c) + R \cdot I^2 \quad \dots(18)$$

Donde:

Qc: Calor absorbido por la célula Peltier en W.

Qh: Calor disipado por la célula Peltier en W

I: intensidad de entrada a la célula en A.

R: Resistencia eléctrica de la célula en Ω .

α : coeficiente de Seebeck de la célula en V/K

Th: temperatura de la cara caliente en K

Tc: Temperatura de la cara fría en K

TENSION DE ENTRADA DE LA CÉLULA

Un símil de potencia térmica y eléctrica resulta:

$$P_t = P_e \quad \dots(19)$$

$$\alpha * I * (Th - Tc) + R * I^2 = Ven * I \quad \dots(20)$$

Ven: Voltaje de alimentación a la célula en V.

Por tanto:

$$Ven = \alpha * (Th - Tc) + R * I \quad \dots(21)$$

COEFICIENTE DE RENDIMIENTO DURANTE LA REFRIGERACIÓN

El COP (Coefficient of Performance) es el rendimiento del sistema en operación para sistemas de refrigeración. Se define como cuánto de la energía que se gasta se aprovecha para lo que se quiere.

Entonces el COP en el modo de refrigeración queda:

$$COP = \frac{Q_c}{P_e} \quad \dots(22)$$

Donde:

Qc: Calor total absorbido por la Célula Peltier en W.

Pc: Potencia eléctrica de la Célula en W.

Ecuación desarrollada:

$$COP = \frac{\alpha * T_c * I - \frac{1}{2} * R * I^2 - \frac{(Th - Tc) * A * \lambda}{l}}{\alpha * (Th - Tc) * I + R * I^2} \quad \dots(23)$$

El Máximo valor del COP se obtiene igualando la ecuación a 0 en función de la Intensidad I:

$$\frac{\partial COP}{\partial I} = 0 \quad \dots(24)$$

Cuando el COP llega a ser máximo la corriente I será:

$$I_{copmax} = \frac{\alpha * \Delta T}{R * (\sqrt{(1 + \gamma \Delta T)} + 1)} \quad \dots(24)$$

Siendo :

$$\gamma = \frac{\alpha^2 * l}{2 * R * A * \lambda} \quad \dots(25)$$

COP máximo para I=Icopmax es:

$$COP_{max} = \frac{T_c}{T_h - T_c} * \frac{\sqrt{(1 + \gamma \Delta T)} - \frac{T_c}{T_h}}{(\sqrt{(1 + \gamma \Delta T)} + 1)} \quad \dots(26)$$

El calor absorbido cuando el COPmax es:

$$Q_{max_{opt}} = \Delta T \left[\frac{\alpha^2}{R * (\sqrt{(1 + \gamma \Delta T)} + 1)} * \left(T_c - \frac{\Delta T}{2 * (\sqrt{(1 + \gamma \Delta T)} + 1)} \right) - \frac{A * \lambda}{l} \right] \quad \dots(27)$$

Con:

$$\gamma = \frac{\alpha^2 * l}{2 * R * A * \lambda} \quad \dots(28)$$

POTENCIA MAXIMA ABSORVIDA TEÓRICA

Se deberá realizar una ecuación con el calor absorbido con respecto a la corriente:

$$\frac{\partial Q_c}{\partial I} = 0 \quad \dots(29)$$

Es decir:

$$\frac{\partial \left[\alpha * T_c * I - \frac{1}{2} * R * I^2 - \frac{(T_h - T_c) * A * \lambda}{l} \right]}{\partial I} = 0 \quad \dots(30)$$

Cuando el enfriamiento es máximo la corriente será:

$$I_{qmax_{max}} = \frac{\alpha * T_c}{R} \quad (31)$$

Entonces:

$$Q_{max_{max}} = \frac{\alpha^2 * T_c^2}{2 * R} - \frac{A * \lambda}{l} * \Delta T \quad \dots(31)$$

Para cuando el enfriamiento es máximo, el rendimiento resulta:

$$COP_{max} = \frac{T_c}{2 - T_h} - \frac{R * A * \lambda}{\alpha^2 * l} * \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_h} \right) \quad \dots(32)$$

DIFERENCIA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS

Si no existiera comunicación entre los 2 semiconductores el coeficiente de operación caería a cero dando el valor máximo de temperatura que puede alcanzar en un semiconductor, siendo:

$$\Delta T_{max} = \gamma \frac{T_c^2}{2} \quad \dots(33)$$

1.3.4 OBTENCION DE RENDIMIENTO DE PLACAS PELTIER TERMINOLOGÍA

Th: Temperatura del lado caliente expuesto al ambiente en grados Celsius.

Tc: Temperatura del lado Frio del módulo o Placa en grados Celsius.

U: Voltaje aplicado al módulo o placa en voltios.

I: Corriente consumida por el módulo o placa en Amperios.

Qc: Capacidad de enfriamiento del lado frio del módulo o Placa en Watts.

DT: Diferencial de Temperatura en grados Celsius entre la temperatura del lado caliente y la temperatura del lado frio del módulo o placa.

INTERPRETACIÓN DE FICHA TECNICA TEC1-12715

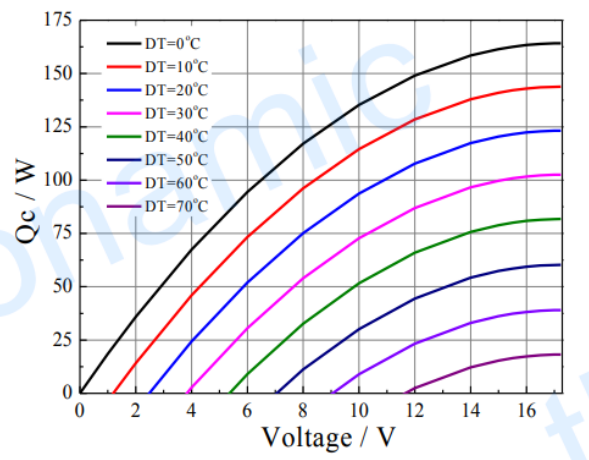


Figura 8. Gráfico de rendimiento estándar en Función a la tensión de alimentación.

Fuente: Extraído del datasheet Peltier TEC1-12715 de TERMONAMIC

Si se desea obtener una temperatura en el lado frio de la placa de 0 grados Celsius, se calcula:

$$DT = Th - Tc \quad \dots(34)$$

$$DT = 50^{\circ}C - 0^{\circ}C$$

$$DT = 50^{\circ}C$$

El voltaje de alimentación será 12 VDC.

Se obtiene la capacidad Frigorífica de la placa Q_c en Watts.

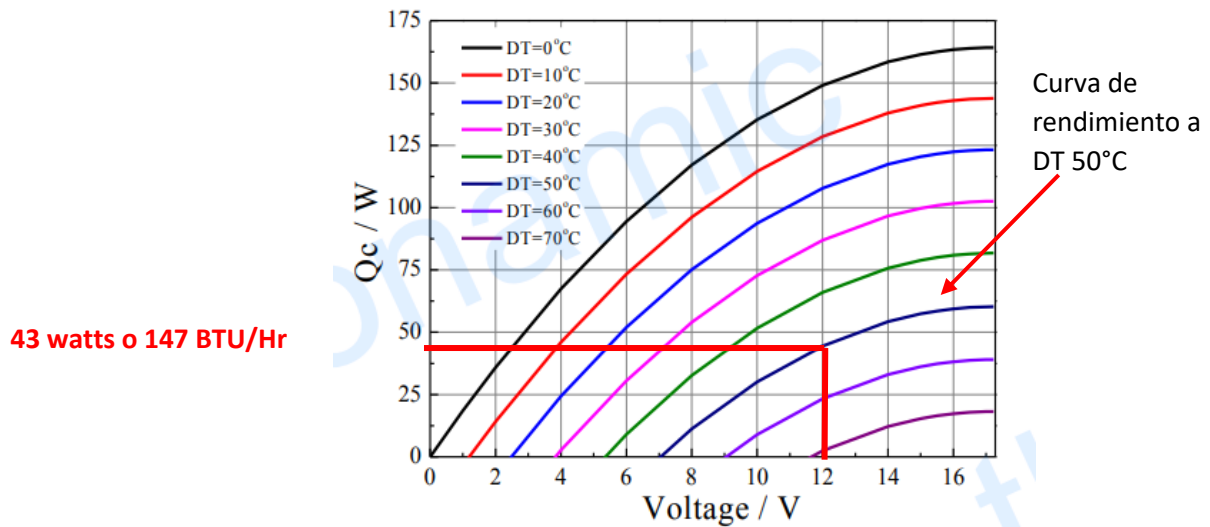


Figura 9. Gráfico de potencia Frigorífica en Función a la tensión de alimentación.

Fuente: Extraído del datasheet Peltier TEC1-12715 de TERMONAMIC

Interpretación:

Mientras se tenga un DT mayor, la potencia de refrigeración de la placa disminuye.

Obtención de la corriente de consumo por apartir de los datos de DT y la capacidad de enfriamiento Q_c .

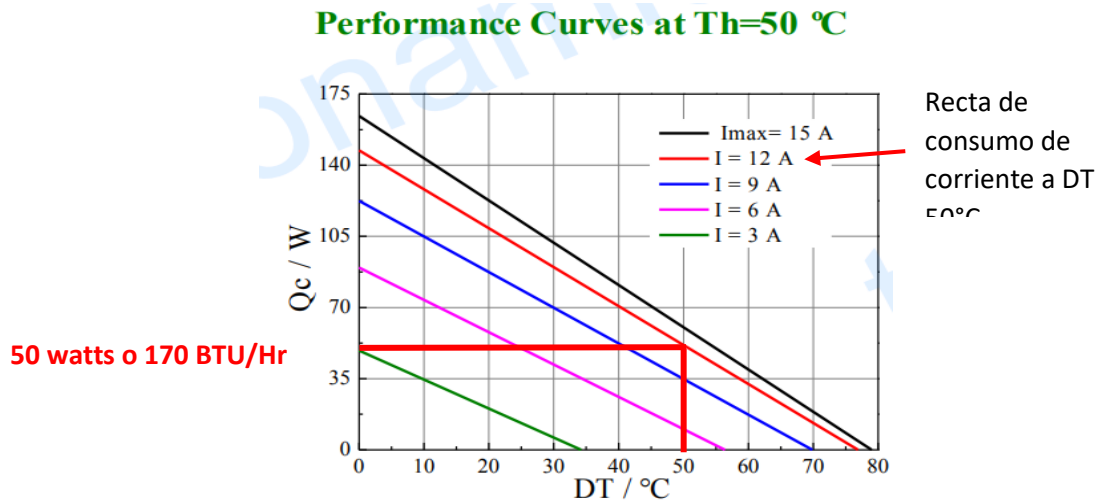


Figura 10. Gráfico de potencia Frigorífica en Función a la Diferencia de Temperaturas.

Fuente: Extraído del datasheet Peltier TEC1-12715 de TERMONAMIC

Cálculo del coeficiente de Rendimiento COP (Coefficient Of Performance)

$$COP = \frac{Q_c}{U \cdot I} \quad \dots(35)$$

$$COP = \frac{50W}{12V \cdot 15A}$$

$$COP = 0.278$$

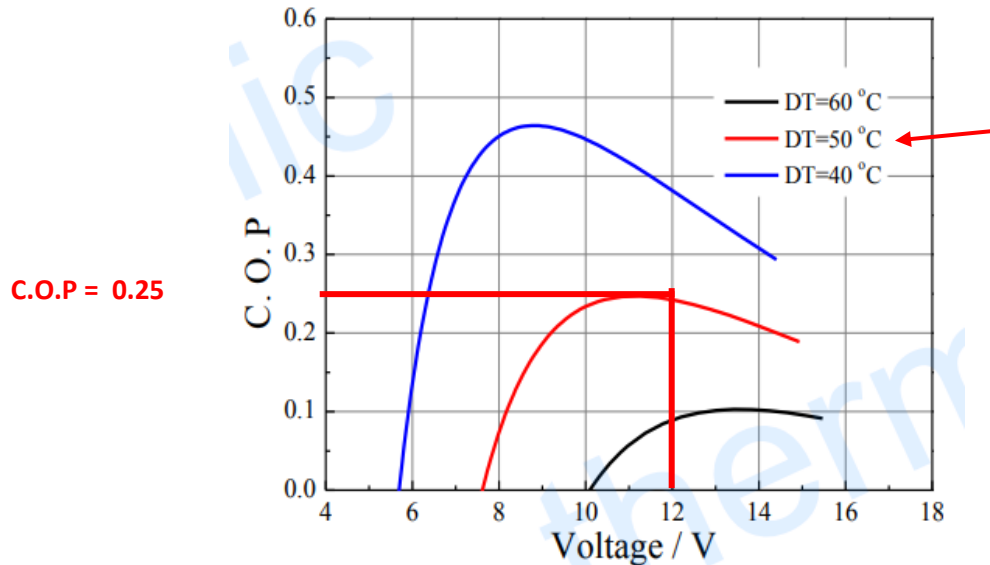


Figura 11. Gráfico de coeficiente de Rendimiento en Función de la tensión de Alimentación.

Fuente: Extraído del datasheet Peltier TEC1-12715 de TERMONAMIC

Interpretación: Para Mantener o aumentar el coeficiente de rendimiento se recomienda ventilar la cara caliente y evitar que eleve su temperatura porque si eleva su temperatura, por ejemplo, a DT 60°C el COP cae a 0,1. Esto nos dice que, de la energía consumida por el módulo o placa, solo el 10% de esta energía se transformaría en potencia frigorífica.

Cálculo de Disipador de Calor

Ejemplo:

El disipador es un dispositivo que absorbe y transfiere la potencia disipada en forma de calor de la celda Peltier con la finalidad de mantenerla a una temperatura segura de operación. Dimensionar adecuadamente este elemento permite mantener a la celda Peltier en un rango seguro de operación, prolongar su vida útil y así mismo su eficiencia.

Formula de aplicación y selección de disipador.

$$TB = TA + (Pt * RdA) \quad \dots(36)$$

TB = Temperatura máxima alcanzable por el dispositivo Peltier

TA = Temperatura ambiente

Potencia = Disipación de potencia (UxI)

RdA= Resistencia del disipador

$$TB = 25^{\circ}C + \left(12V \times 15A * 1.37^{\circ} \frac{C}{W}\right) \quad \dots(37)$$

$$TB = 271.6^{\circ}C$$

Temperatura máxima que puede alcanzar la base del dispositivo Peltier es de 271.6°C.

Esta temperatura estropearía el Peltier, con lo cual se deberá utilizar un disipador con ventilación forzada. Donde se tomará como temperatura máxima alcanzable por la zona de la cara caliente del Peltier a no mayor de 50°C.

A partir de este dato se calcula el disipador adecuado y el flujo de ventilador requerido.

1.3.5 APARAMENTA ELECTRICA

Son los dispositivos de medida, maniobra, regulación, y control utilizados en los sistemas eléctricos. Se clasifican por su:

Función: Maniobra, Protección, Medición, Regulación, Control y Compensación.

Tensión: Baja Tensión, Media Tensión, Alta Tensión y Muy Alta Tensión

Montaje: Interior, Exterior.

Protección: No protegidos, Protegidos con tableros metálicos.

Utilización: Domestico, Industrial, Transporte, Producción y Distribución.

APARAMENTA DE MANIOBRA:

Son aquellos que abren y cierran circuitos. Hechos para operar bajo diferentes condiciones de servicio se distinguen por su función: como seccionadores, Interruptores y Contactores.

INTERRUPTOR - SECCIONADOR:

Es un aparato de conexión y desconexión de suministro eléctrico que se aplica para dar seguridad de aislamiento galvánico durante un corte de energía. Idealmente son hechos realizar los accionamientos bajo carga y con capacidad de soportar corrientes elevadas como las de cortocircuito durante un determinado tiempo.



Figura 12. Interruptor Seccionador

Fuente: Schneider Electric

CONTACTOR:

Es un aparato electromecánico para realizar accionamientos a distancia y a diferentes tensiones de control, independientemente del voltaje que se maneje en sus bornes de potencia.



Figura 13. Contactor Tripolar

Fuente: Schneider Electric

APARATURA DE PROTECCIÓN

Su función es la de reducir y evitar los efectos perjudiciales de las averías con un adecuado dimensionamiento.

INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO

Es un dispositivo encargado de interrumpir la corriente eléctrica cuando sobrepasa su corriente nominal o por consecuencia de un cortocircuito. Una característica importante de este elemento es de poder reconectar el circuito siempre que se haya corregido la avería.



Figura 14. Interruptor termomagnético tripolar

Fuente: Siemens

INTERRUPTOR AUTOMÁTICO DIFERENCIAL

Elemento diseñado para la protección de las personas contra fugas de corriente mortales. El principio de funcionamiento es la diferencia de corriente de salida con la de retorno. Su sensibilidad va desde 10 mA a 30mA para uso domiciliario y de 300mA con escalas regulables para uso industrial; donde la protección se realiza a los equipos. Las corrientes diferenciales altas son consideradas para instalaciones con cargas no lineales.



Figura 15. Interruptor diferencial trifásico + N

Fuente: Siemens

FUSIBLE:

Elemento de protección hecho de un material conductor, de bajo punto de fusión, que desconecta el fluido eléctrico ante una corriente excesiva.



Figura 16. Fusible NH

Fuente: Siemens

GUARDAMOTOR

Es un elemento dedicado a la protección de motores eléctricos. Reemplaza el uso de un interruptor termomagnético y la de un relé de sobrecarga.



Figura 17. Guardamotor Tripolar

Fuente: Schneider Electric

APARAMENTA DE MEDICIÓN

Son dispositivos utilizados con el fin de conocer los parámetros de funcionamiento en la instalación, mediante el cual se pueda lograr darle continuidad de servicio, la mayor eficiencia energética y reducir los costos optimizando sus recursos.

ANALIZADORES DE REDES

Instrumento de Medición que tiene la capacidad de identificar los parámetros eléctricos como: Tensión, Corriente, Frecuencia, Potencia, Factor de Potencia, Potencia Activa, Potencia Reactiva, Potencia Aparente, Energía consumida, Armónicos, Distorsión Armónica, entre otros. Con el objetivo de obtener los datos necesarios para realizar una adecuada Gestión Energética de la Instalación.



Figura 18. Analizador de Redes

Fuente: Schneider Electric

TERMÓMETRO

Instrumento de Medición de la Temperatura mediante una sonda o un sensor tipo termistor o resistencia variable dependiente de la temperatura.

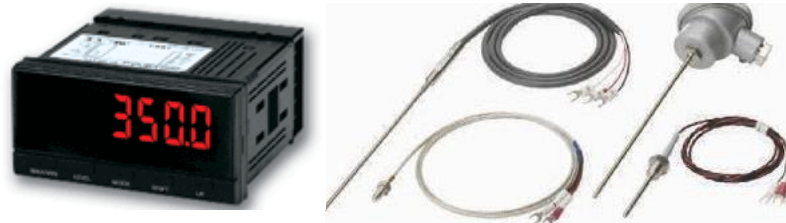


Figura 19. Indicador de temperatura y sonda de medida

Fuente: OMRON, automatización industrial.

TACOMETRO

Instrumentos de Medición de las revoluciones por minuto de un elemento giratorio.



Figura 20. Indicador de RPM (revoluciones por minuto)

Fuente: OMRON, automatización industrial.

CONTACTORES

Es un aparato electromecánico para realizar accionamientos a distancia y a diferentes tensiones de control, independientemente del voltaje que se maneje en sus bornes de potencia.

Son dispositivos electromecánicos de dimensiones y consumos de energía reducidos, empleados para aislar circuitos de control y cargas. Uso común con controlares lógicos programables (PLC) en funciones de interfase y como repetidores de señal.



Figura 21. Contactores de potencia

Fuente: SIEMENS

RELES DE ESTADO SÓLIDO

Son interruptores electrónicos (con semiconductores) carentes de elementos móviles y con mayor vida útil que los electromecánicos. Tienen la misma función que los contactores; conmutan la corriente de la carga a partir de una señal de control en DC o en AC.



Figura 22. Relés de Estado Sólido

Fuente: Schneider Electric

RELES TEMPORIZADOS

Son elementos electromecánicos y/o electrónicos que permiten realizar acciones con retardos de tiempo programados. Pueden Configurarse para realizar conexiones y desconexiones durante los 7 días de la semana y a determinadas horas.



Figura 23. Temporizadores electrónicos

Fuente: General Electric

RELES DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

Son Dispositivos electrónicos que monitorean las magnitudes eléctricas de una instalación, manteniendo los rangos especificados por el usuario. Controlan bajos y altos voltajes, asimetría de tensión, ausencia de Fase, inversión de Fase, Alta y baja Frecuencia, entre otros.



Figura 24. Relés de monitoreo y control de líneas trifásicas

Fuente: Schneider Electric

CONTROLADORES DE TEMPERATURA

Es un Instrumento con la capacidad de controlar la temperatura mediante un sensor y una salida que manipula la fuente de calor. El sensor puede ser del tipo NTC (Coeficiente de Temperatura Positivo) o NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo), y de Salida digital (estado sólido o por relé) o analógica (4-20mA o 0-10V).



Figura 25. Módulo controlador de Temperatura y Sensor pt100.

Fuente: Schneider Electric

APARAMENTA DE REGULACIÓN

FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Equipos electrónicos que transforman la corriente alterna en corriente continua. Las de mayor aplicación para la alimentación de los dispositivos electrónicos de control son las del tipo conmutadas ya que logran mantener su salida estable a pesar de tener distorsiones en la entrada. Son más eficientes que las fuentes lineales, aunque para lograr dichas características son más complejas y por ende susceptibles a averías.



Figura 26. Fuentes de Alimentación

Fuente: Siemens

ARRANCADORES DE ESTADO SOLIDO

Son aparatos electrónicos diseñados para el uso exclusivo de arranque de motores eléctricos a tensión reducida. Cuenta con protecciones analógicas y Digitales para los eventos de Sobrecarga, tiempos de rampa en arranque y parada, y Regulador de torque en función del % de tensión aplicado al inicio. Algunos modelos tienen protecciones contra fugas a tierra, detección de sobre temperatura mediante un termistor, ausencia de fases, inversión de línea, falla en el bobinado del motor, entre otros.



Figura 27. Arrancadores de Estado Sólido

Fuente: Siemens

VARIADORES DE VELOCIDAD

Aparatos electrónicos diseñados para realizar un control íntegro del motor eléctrico, ya sean síncronos o asíncronos, cuidando los parámetros de voltaje, corriente, velocidad, torque y frecuencia. Están diseñados para monitorear y proteger su estado, y las del motor eléctrico.



Figura 28. Variadores de Velocidad

Fuente: Allen Bradley

CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES (PLC)

Es un equipo utilizado en la automatización de procesos industriales. La sinergia de sus dos partes, software y hardware, lo convierten en un elemento importante para aumentar la productividad de la empresa.

Son resistentes ante impactos, y no presentan fallas en caso de corte inmediato de su fuente de alimentación. Operan de manera estable y con rangos de temperatura cada vez más amplios.

La estabilidad de funcionamiento se determina por el índice de estabilidad RAS (Fiabilidad, disponibilidad y Capacidad de servicio) aplicado a los sistemas de cómputo. Catalogándolos como elementos con menores índices de probabilidad ante fallos, facilidad de mantenimiento y mayor índice de disponibilidad.



Figura 29. Controlador Lógico Programable, Logo

Fuente: Siemens

APARAMENTA DE COMPENSACIÓN

CONDENSADORES

Son elementos que almacenan energía, empleados en electrónica para el filtrado de voltajes continuos y en electricidad para la compensación de energía reactiva. En electrónica los encontramos en todos los dispositivos de nuestra vida diaria, celulares, laptops, televisores, hornos microondas, entre muchos otros; y en el sector industrial, en los autómatas programables, variadores de frecuencia, instrumentos de medición, fuentes de alimentación, etc.

Convirtiéndose en elementos indispensables en todo equipo eléctrico-electrónico.

En el sector industrial su aplicación va más allá del filtrado. Sus prestaciones en corriente alternan se aprovechan para compensar la energía reactiva generada por los motores, transformadores y otras cargas inductivas. Debido a que la energía reactiva está multada por ocasionar efectos perjudiciales en las instalaciones.



Figura 30. Condensadores electrónicos

Fuente: Imágenes de Internet



Figura 31. Condensadores para corrección del factor de potencia

Fuente: Schneider Electric

BOBINAS PARA FILTRO DE ARMONICOS

Al igual que los condensadores las bobinas para filtro combaten la contaminación de la corriente eléctrica en una instalación, pero en este caso, se enfocan en el contenido armónico del suministro. Los cuales tienen efectos perjudiciales en los motores, transformadores, interruptores, conductores, ordenadores, electrónica de potencia y en condensadores de potencia. Lo que hacen es desintonizar las altas frecuencias armónicas que distorsionan la forma de onda senoidal y absorberlas.



Figura 32. Bobina de filtrado de Armónicos

Fuente: Schneider Electric

1.3.6 VIDA ÚTIL DE LA APARAMENTA ELECTRICIA

Es el tiempo que se le estima a un dispositivo para desarrollar su funcionamiento sin deterioro de sus características principales bajo ciertos rangos de tolerancia y en condiciones de trabajo definidos.

FACTORES QUE REDUCEN LA VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS ELECTRÓNICOS

- **ELECTRICOS**

TENSIÓN EXCESIVA: Esta condición acelera el proceso de deterioro de un componente eléctrico y puede acortarla instantáneamente.

BAJO VOLTAJE: La baja tensión fuerza a los componentes a desarrollar condiciones de trabajo en el umbral de funcionamiento, conectando y desconectando repetidas veces su operación.

TENSIONES TRANSITORIAS: Son flujos de carga de corta duración producidos por elementos no lineales y descargas atmosféricas, que elevan de manera exponencial las tensiones en la red.

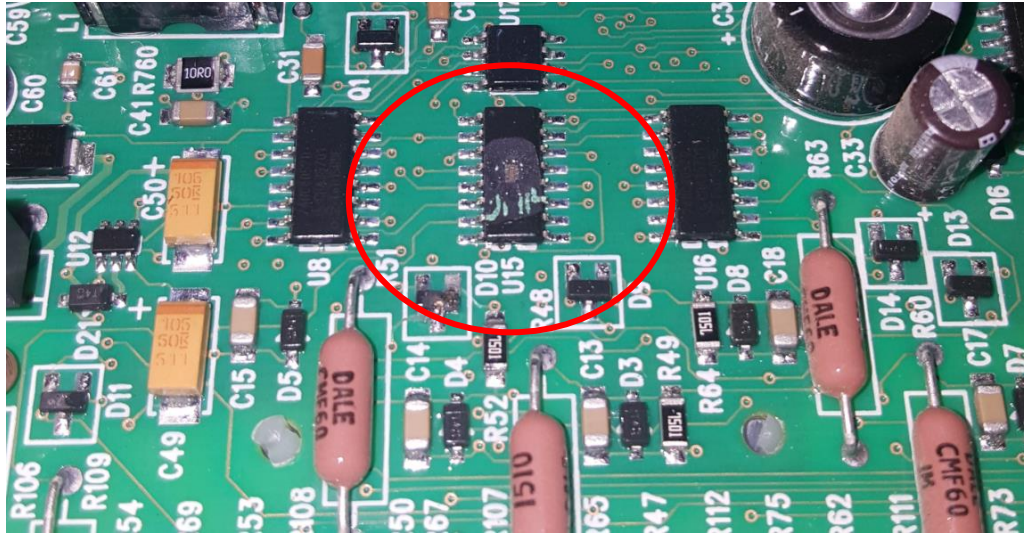


Figura 33. Circuito Integrado dañado por excesiva tensión

ELECTROMIGRACIÓN: Considerado como mecanismo de desgaste. Hace referencia a la traslación de los iones de un material conductor por la acción de la electricidad y a altas densidades de corriente. Se identifican 2 efectos:

Huecos: Debido a la traslación de los átomos de metal se producen espacios que aumentan la resistencia del conductor, ocasionando la falla del dispositivo por corte de corriente.

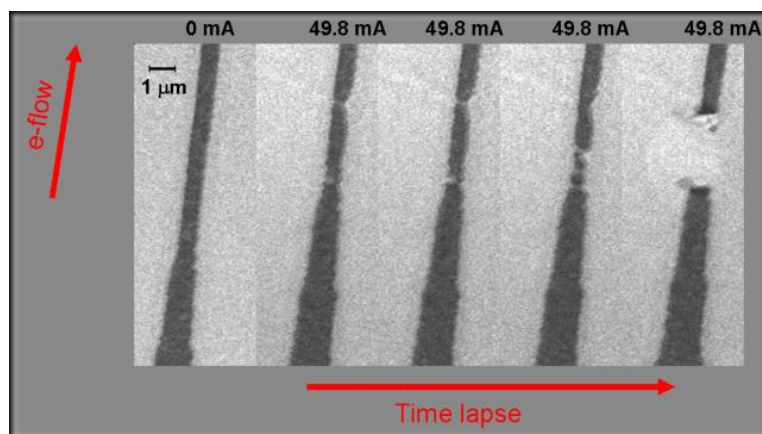


Figura 34. Huevo formado por electro migración

Fuente: Yus, Carlos (2017).

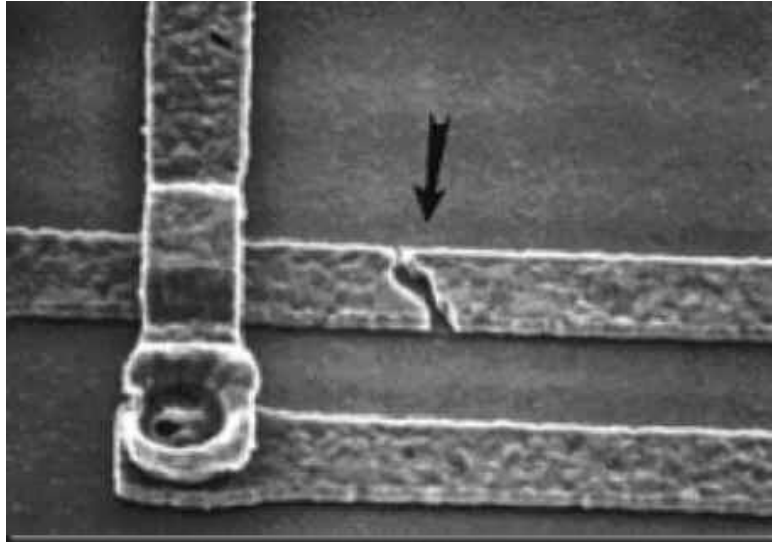


Figura 35. Fallo en el dispositivo por corte de corriente

Fuente: Yus, Carlos (2017).

Acumulaciones: El material que en unas zonas dejó huecos, en otras, va creando mayores áreas. Se aumenta la sección del conductor hasta el punto de juntarse con una pista adyacente y producir los cortocircuitos.

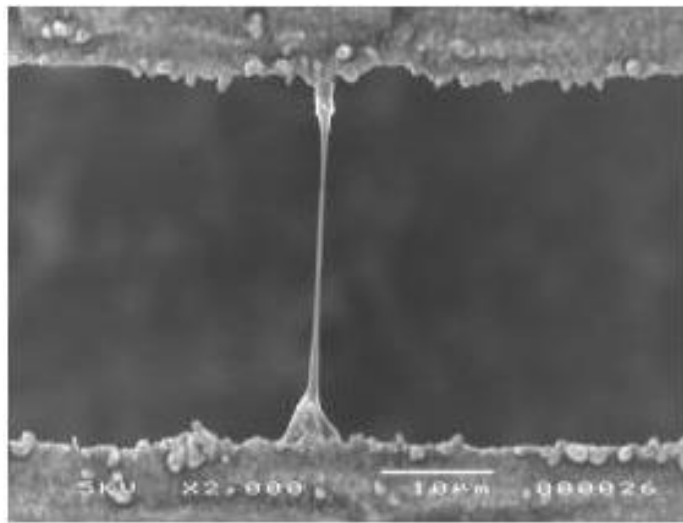


Figura 36. Puente entre 2 pistas conductoras formando un cortocircuito.

Fuente: Yus, Carlos (2017).

FACTORES QUE INFLUYEN EL PROCESO DE ELECTRO MIGRACIÓN.

Altas temperaturas: Se producen las vibraciones atómicas al incrementarse la resistencia eléctrica del conductor.

Altas Intensidades: La transferencia de momento de electrones metálicos depende del flujo corriente que los atraviesa.

Sección del conductor: la densidad de corriente es inversamente proporcional a la sección. Los efectos más acentuados de la electromigración se da cuando la densidad de corriente es alta y la sección del conductor es baja.

DISMINUIR LOS EFECTOS DE LA ELECTROMIGRACIÓN

Para evitar en lo posible los daños producidos por este efecto, se tendrá que reducir la temperatura de operación de los elementos involucrados de manera local o general.

- **AMBIENTALES**

Zonas corrosivas y de alta humedad.

Temperatura ambiente mayor a 60°C y 90% de humedad con condensación.

Entornos de niebla y contaminados con sal.

Atmosferas de vapores químicos y agresivos.

Entornos Marinos.

Shocks térmicos: Exposición de los componentes a cambios bruscos de temperatura debido a daños por expansión y contracción.

Magnetismo: Los imanes y electroimanes inducen tensiones parasitas en las tarjetas, por ello, se recomienda evitar la instalación junto a máquinas de inducción.

Ambientes con alta polución: Impide la adecuada disipación de calor que emiten las tarjetas electrónicas. Presta las condiciones necesarias para que inicie el proceso de corrosión

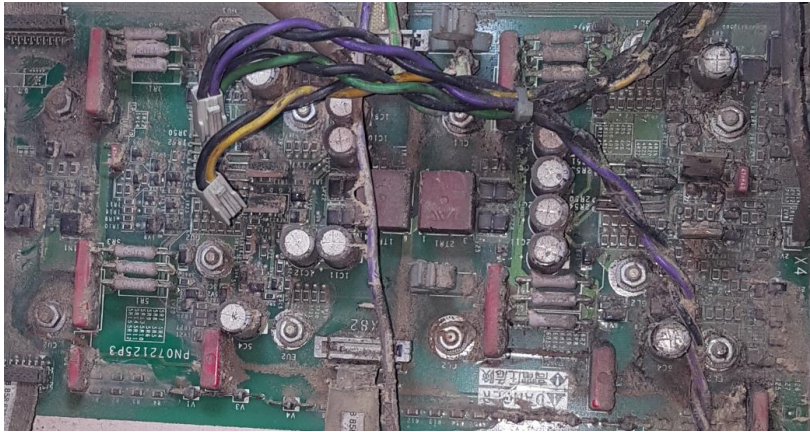


Figura 37. Tarjeta electrónica de Variador de Velocidad 400kw contaminado con polvo de carbón

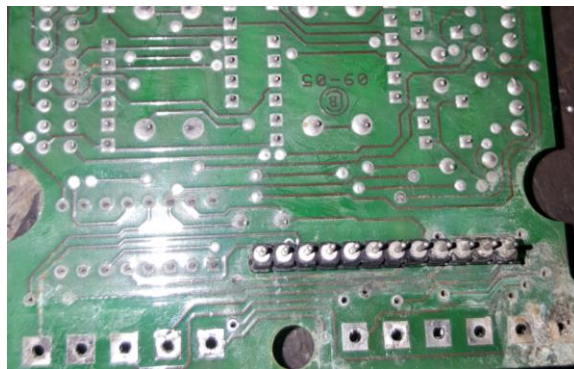


Figura 38. Corrosión en tarjeta electrónica de PLC.

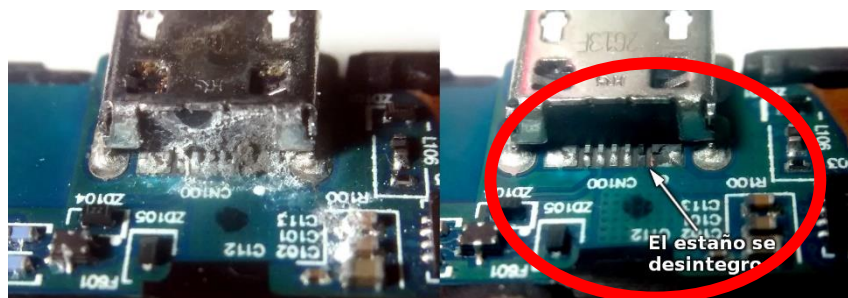


Figura 39. Presencia de sulfato en conector / identificación de pin de soldadura desintegrado luego de la limpieza.

1.3.7 IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PARA PROLONGAR LA OPERATIVIDAD DEL SISTEMA

El objetivo es aumentar la tasa de operación del sistema y optimizarla. Una adecuada gestión y ejecución del mantenimiento puede aumentar el periodo de operación normal y reducir el tiempo de inactividad causado por fallas.

Tasa de operación = $\text{Periodo de Operación} / (\text{periodo de operación} + \text{Periodo de Fallas})$

Periodo de Operación: Cuando este es mayor indica menor probabilidad de fallas de los equipos.

El periodo de operación se reduce debido a fallas imprevistas y a componentes con vida útil limitada. Periodo de Fallas: A menor periodo quiere decir que hay mayor continuidad de funcionamiento del sistema.

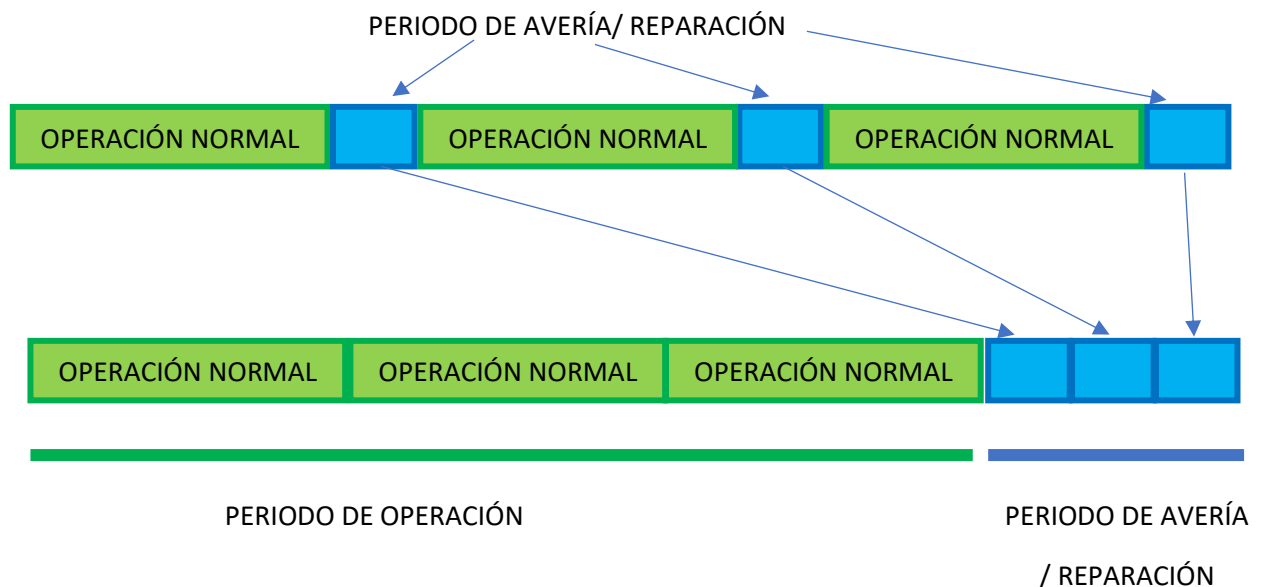


Figura 40. Tipos de Periodos de operación y periodos de Falla / Reparación

OPTIMIZACIÓN DE LA TASA DE OPERACIÓN

Es necesario prolongar el periodo de operación y disminuir el periodo de fallas/ reparación.

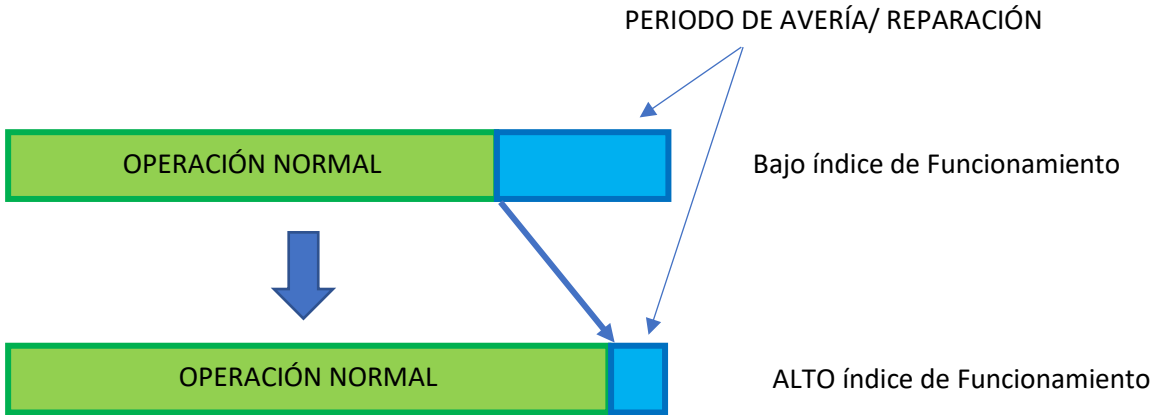


Figura 41. Optimización del índice de funcionamiento

ACCELERAR LA PUESTA EN SERVICIO Y REDUCIR EL TIEMPO DE INACTIVIDAD DEL SISTEMA

Detectar las fallas en su fase de inicio y reemplazar los elementos defectuosos. Comunicar los eventos producidos al personal de mantenimiento y realizar un estudio de las causas

1.3.8 PROLONGAR EL PERIODO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA SELECCIONAR PRODUCTOS CONFIABLES:

Seleccionar los productos con tiempos de funcionamiento prolongados y de protecciones estandarizadas.

DISEÑAR UN SISTEMA CON BAJA PROBABILIDAD DE FALLOS:

Prologando la vida útil de los dispositivos.

PROTEGER LOS DISPOSITIVOS CRÍTICOS:

Identificar los elementos importantes del sistema que condicionen a una parada de la producción y reduzca las causas de su deterioro (ambientales, eléctricos, mala operación, entre otros).

En el caso de utilizar controladores lógicos Programables (PLC) deberán tener mayor cuidado en temas de la capacidad nominal, “derating”, medidas contra el ruido, y el entorno de instalación; debido a que tiene componentes electrónicos delicados.

CAPACIDAD NOMINAL y DERATING

Es importante saber los parámetros nominales de funcionamiento del equipo especificados por el fabricante como: voltaje, corriente, frecuencia, temperatura, etc. Esto es, porque en ciertas ocasiones los componentes son sometidos hasta los límites máximos permitidos. Estos indican el rango límite de operación que un producto puede soportar sin sufrir avería. Por ejemplo: Si la corriente nominal de un componente es de 4A a 40°C y sus Límites máximos absolutos son de 10 A por 1segundo.

Quiere decir que este elemento puede soportar sobre corrientes de hasta 10 A por 1 segundo. Pero si trabaja muy próximo a sus valores máximos tolerables es probable que falle al corto tiempo. La Reducción de la Capacidad Nominal o Derating, Se aplica cuando los componentes operan por debajo de sus valores nominales. Es decir, dentro de sus límites de tolerancia.

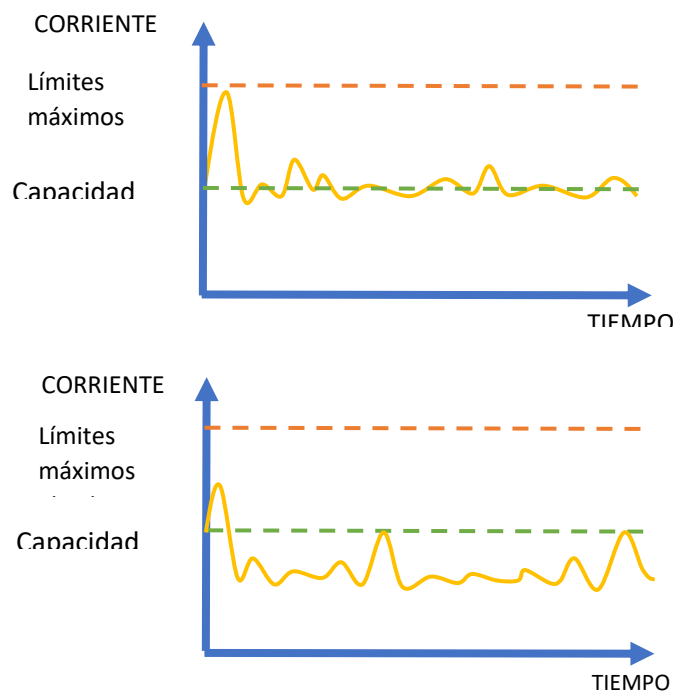


Figura 42. Capacidad Nominal y Derating

RUIDO ELECTRICICO

Son señales que producen operaciones imprevistas. Para reducir sus efectos, los dispositivos se fabrican con órdenes de respuestas a 24V o 100V, de esta manera mejoran su inmunidad frente a Voltajes inducidos de 5V.

CONTEXTO DE INSTALACIÓN

Proteger a los dispositivos contra ambientes potencialmente perjudiciales.

Requisitos recomendados al entorno de instalación.

Elemento	Especificaciones					
Temperatura ambiente de funcionamiento	0 a 55 °C					
	0 a 60 °C (al utilizar una unidad base con rango de temperatura amplio)					
Temperatura ambiente de almacenamiento	-25 a 75 °C					
Humedad ambiente de funcionamiento	5 a 95% RH, sin condensación					
Humedad ambiente de almacenamiento	5 a 95% RH, sin condensación					
Resistencia a la vibración	Cumple con JIS B 3502 e IEC 61131-2	Con vibración intermitente	Frecuencia	Aceleración constante	Amplitud media	Núm. de barridos
			5 a 9 Hz	—	3,5 mm	
		Con vibración continua	5 a 9 Hz	—	1,75 mm	—
			9 a 150 Hz	4,9 m/s ²	—	
Resistencia a impactos	Cumple con JIS B 3502 e IEC 61131-2 (147 m/s ² , 3 veces en cada una de las direcciones X, Y y Z)					
Atmósfera de trabajo	Sin gases corrosivos					

Figura 43. Entorno de Instalación para dispositivos electrónicos

Fuente: Mitsubishi Electric

PUESTA A TIERRA

Se recomienda el uso de puestas a tierra independientes; una para dispositivos control electrónico y otro para maquinaria de alta corriente. En estas condiciones se evitan los ruidos eléctricos y se derivan directamente a tierra.

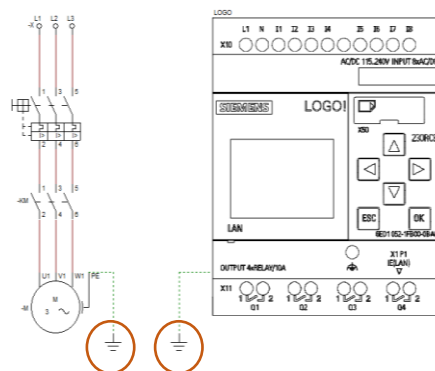


Figura 44. Puesta a tierra independiente.

1.3.9 COMPONENTES QUE LIMITAN LA VIDA ÚTIL DE UN DISPOSITIVO ELECTRONICO

La vida útil de un dispositivo electrónico está estimada en alrededor de 10 años. Siempre que se mantengan las condiciones de instalación que el fabricante recomienda. Sin embargo, la mayoría de los equipos están conformados por elementos que condicionan su longevidad. Por ejemplo: los condensadores electrolíticos de aluminio se deberán cambiar cada 5 años. En el caso de un transistor y un relé, depende de su capacidad nominal de conducción y a su frecuencia de funcionamiento. Si sobrepasan sus valores nominales, también se reduce su vida útil.

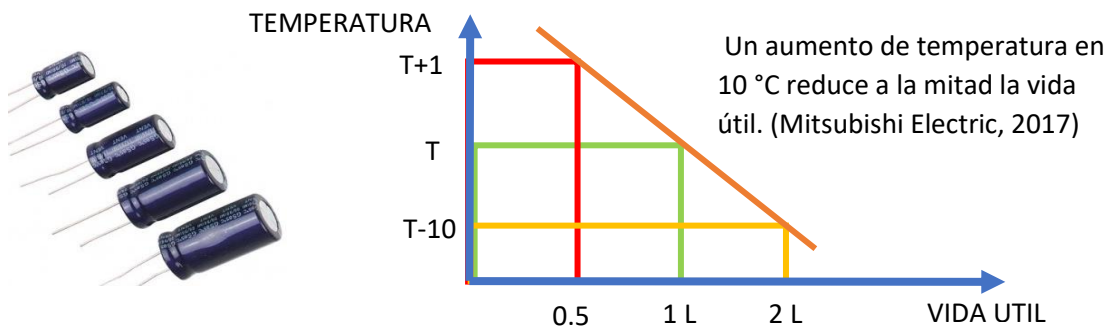
CONDENSADOR ELECTROLITICO DE ALUMINIO

Es un elemento que almacena energía y que, además tiene la capacidad de eliminar el ruido eléctrico brindando a los equipos inmunidad de fallos frente a estos fenómenos. Pero, con el tiempo sus bondades se degradan y se aceleran debido a la temperatura. Entonces, controlar la temperatura es de gran importancia.



Figura 45. Vida útil de un capacitor electrolítico de Aluminio (6000 a 8000 Hrs)

Fuente: Xuanxcapacitors, s.f.



Fuente: Mitsubishi Electric, 2017

Figura 46. Influencia de la temperatura en la Vida útil del condensador electrolítico de Aluminio

BATERIA:

En un equipo computarizado que utiliza un conjunto de memorias, algunas no volátiles como las ROM y volátiles como las del tipo RAM, para realizar tareas secuenciales. Hacen uso de las baterías para retener las configuraciones realizadas en el equipo, caso contrario se borrarían cuando se les desconecte la fuente de alimentación general.

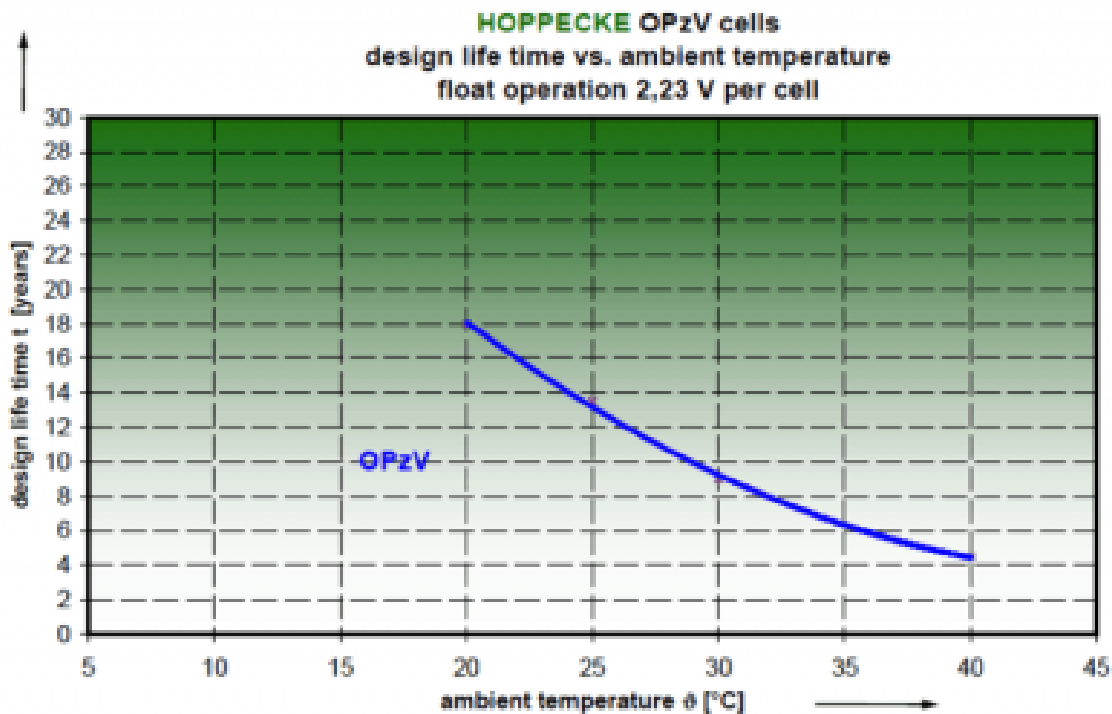


Figura 47. Influencia de la temperatura en la Vida útil de las baterías OPzV

Fuente: DELTAVOLT

Las Temperaturas óptimas para las baterías OPzV, son entre 20°C y 25°C garantizando un estimado de 13 a 18 años de poder mantener su capacidad de carga. Sus propiedades se reducen cuando la temperatura aumenta, y cada 10°C van acortando su vida útil a la mitad.

RELÉS

Un PLC está constituido por un módulo de entradas, una unidad de procesamiento y un módulo de salida (a base de transistores o Relés). Este último es el que se encarga de realizar la comunicación con los actuadores como, energizar bobinas, encender lámparas, abrir y cerrar circuitos.

El relé al tener una estructura mecánica para mover sus contactos. Tiene una vida limitada. La reducción de su vida útil se ve atacada por fenómenos relacionados a las corrientes transitorias ocasionando la fusión de sus contactos y en otros casos cuando los contactos se queman por las chispas formando una capa aislante que inhabilita su capacidad conductora.

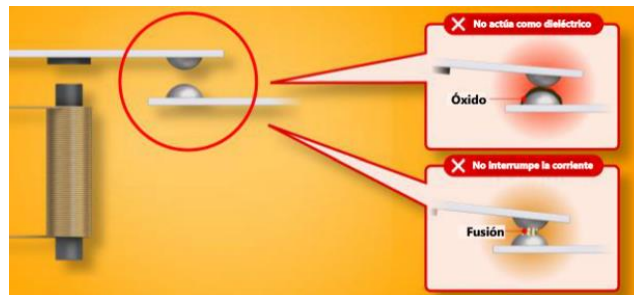


Figura 48. Problemas en los contactos de los Relés

Fuente: Mitsubishi Electric, 2017

FUSIBLES

Son elementos de protección utilizados en las placas electrónicas para limitar los efectos perjudiciales de una excesiva corriente. Si un fusible se funde es recomendable reemplazar la placa, debido a que está indicando un comportamiento defectuoso dentro del circuito. Antes de reemplazar la tarjeta, se tendrá que identificar y eliminar la causa.

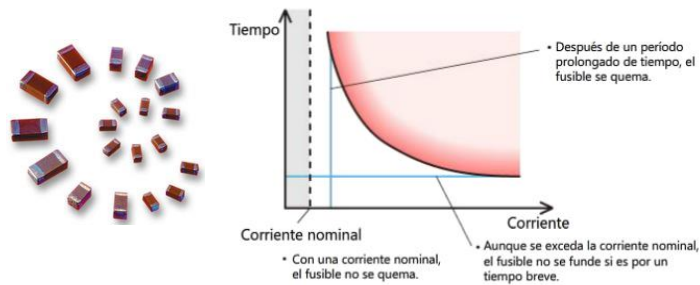


Figura 49. Curvas de operación de un Fusible

Fuente: Mitsubishi Electric, 2017

MÓDULO DE ENTRADAS DE UN PLC

Las entradas son las que reciben la señal para realizar las secuencias programadas. Las señales son en voltaje, pueden ser a 5V, 24V o 100V. Las señales son recibidas por resistencias internas las que al estar activadas generan calor. La acumulación de calor en todo el módulo se tendrá que controlar, esto es, porque pueden quedar inhabilitados a pesar de estar con la señal puesta.

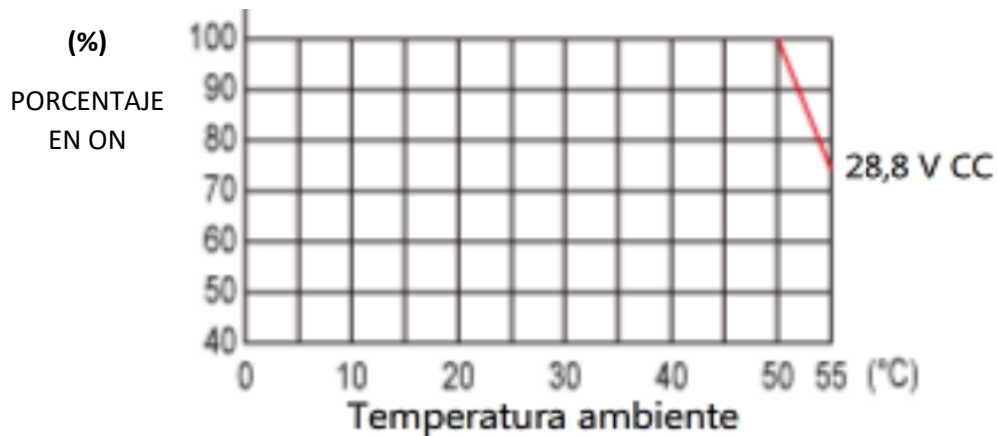


Figura 50. Influencia de la Temperatura en el estado ON del módulo de entradas en un PLC

Fuente: Mitsubishi Electric, 2017

El porcentaje de estados en ON del módulo de entradas puede verse afectado cuando a una entrada de tensión nominal a 24vdc se le aplica 28.8vdc y la temperatura ambiente es de 55°C. Algunas entradas quedarán en estado OFF generando la inestabilidad del sistema.

Recomendación: Reducir el uso de entradas, Reducir el voltaje aplicado a la señal y reducir la temperatura ambiente.

1.3.10 GESTIÓN TÉRMICA

Son aquellas acciones destinadas a mantener bajo control las condiciones de temperatura y humedad en un determinado ambiente.

El mantener en rangos seguros de operación a un sistema con dispositivos electrónicos que tienen altas densidades de potencia es de suma importancia, esto es, porque se generan puntos calientes, degradación de las pistas electrónicas y daños físico a los circuitos.

Entre las alternativas para la adecuada reducción de la temperatura, es reducirle la carga de operación a los microprocesadores, y optimizar el diseño del encapsulado de enfriamiento.

Los niveles de gestión térmica son:

A NIVEL DE CHIP: El objetivo es reducir la Energía de Diseño Térmico, la máxima potencia que puede disipar un microprocesador cuando está ejecutando una cantidad de aplicaciones.

REFRIGERACIÓN A NIVEL DE ENCAPSULADO: El encapsulado debe facilitar la disipación de calor desde el interior hacia el exterior y ser capaz de reducir los focos de calor.

DISEÑO DE DISIPADOR EXTERIOR: El objetivo es aumentar el área de contacto de disipación de potencia con el ambiente y optimizar la transferencia por convección forzada.

A NIVEL DE SISTEMA: Cubre un mayor rango de dispositivos y en conjunto evacua el calor producido por todos ellos. Es recurrente el uso de ventiladores.

GESTION DINAMICA DE TEMPERATURA: En el circuito integrado se controlan las zonas de procesamiento en función de la temperatura para evitar que se concentren focos de calor que puedan dañar al microprocesador

1.3.11 HERRAMIENTAS INFORMATICAS

SOFTWARE DE CALCULO TERMICO PROCLIMA 7.1

Es un Programa que la Compañía Schneider Electric puso a disposición de los diseñadores para que calculen rápidamente las potencias térmicas requeridas a disipar cuando se realizara instalaciones con sus productos. Sirve también como referencia para estimar las cargas térmicas de otros fabricantes, pero con cierto error, por lo cual es recomendable recurrir a la ficha técnica de cada dispositivo a emplear. Permite la gestión térmica del envolvente o tablero que se cuenta en el proyecto. Se escoge el tipo de material y las dimensiones del tablero, si se va a instalar al interior o la intemperie y así también el tipo de montaje. Luego, se definen las condiciones de temperatura a las que será sometido, en consideración se recomienda un estudio de las temperaturas extremas a las que llega el lugar donde será ubicado el tablero. Posteriormente se proponen la temperatura a la que se desea mantener dentro del tablero en un rango, también configurable.

Permite especificar la potencia disipada de la aparamenta en 3 opciones: por potencia conocida, por cálculo a partir del material y, por cálculo de potencia de lecturas de temperatura a partir de un registrador de datos o dataloggers. La solución térmica que ofrece va desde cubrir problemas por sobre temperatura hasta corregir problemas por humedad y condensación.

The screenshot displays the ProClima 7.1 software interface. At the top, there is a menu bar with 'Archivo' and 'Contenido'. Below it, a navigation bar includes 'Nuevo Proyecto' and 'OUTDOOR'. The main interface is divided into several sections:

- Tipo de instalación:** Radio buttons for 'Instalación de interior' (unselected) and 'Instalación de exterior' (selected).
- Area de instalación:** Radio buttons for 'Instalación en area publica' (selected) and 'Instalación en area privada' (unselected).
- Datos de Proyecto:** A form with fields for 'Nombre del Cliente', 'Responsable técnico', 'Proyecto', 'Lugar de realización de la instalación', and 'Fecha de cálculo' (03/12/2018).
- Datos eléctricos:** Fields for 'Tensión nominal (V) del equipo térmico' (230 V (Corriente alterna)) and 'Frecuencia de la red (Hz)' (50).

Figura 51. Vista del Programa para cálculo térmico ProClima 7.1

Fuente: Schneider Electric Company (2017)

LOGOSOFT COMFORT

Es un programa que se utiliza para configurar a los micro PLCs de la Marca Siemens, que permite realizar una secuencia lógica dependiendo del proceso que se desea controlar. Cuenta con lenguaje de programación en Ladder o escalera y bloque de funciones. Tiene opciones de monitoreo online de los estados en los que se encuentran las entradas y salidas del PLC.

Como parte de sus herramientas de apoyo cuenta con un simulador que coloca al programa diseñado en las condiciones reales de funcionamiento. De esta forma se anticipa las posibles fallas que pueda contener el programa antes de ser cargado al Hardware.

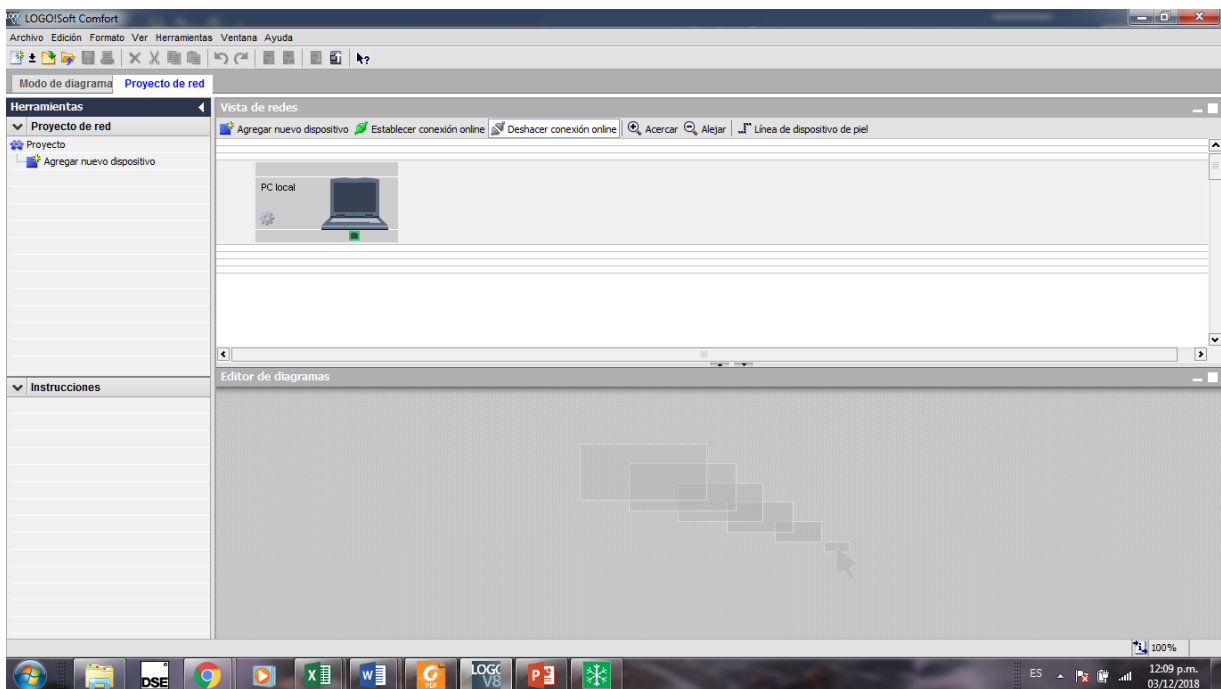


Figura 52. Vista del Programa Logo Soft Comfort v8.

Fuente: SIEMENS Company (2016)

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las características que determinan la viabilidad del uso de las celdas Peltier en la Climatización de tableros eléctricos para Prolongar la Vida Útil de la Aparamenta Eléctrica?

1.5 JUSTIFICACIÓN

Justificación tecnológica: La investigación contribuirá a la promoción del empleo de sistemas electrónicos como potencial alternativo en la reducción del uso de equipos de climatización convencionales con elementos contaminantes y complejos de mantener.

Justificación Económica: La aplicación de estas celdas con respecto a otros sistemas convencionales puede llegar a reducir los costos de adquisición hasta un 50% y un 60% en el mantenimiento, para sistemas en baja potencia.

Justificación Social: Este estudio servirá como referente para adecuarlo al uso de refrigeración doméstica.

Justificación Ambiental: Este método tiene el más bajo grado de contaminación durante su funcionamiento debido a que es netamente eléctrico, es seguro para el operador, su tensión de operación es en corriente continua y puede ser alimentado por fuentes de energía renovables. Es de reducido espacio y tiene capacidad modular por lo que los residuos sólidos generados pueden ser segregados adecuadamente.

1.6 HIPÓTESIS

Implementando un módulo de pruebas para determinar los parámetros de funcionamiento de las celdas Peltier en la refrigeración.

1.7 OBJETIVO GENERAL

Determinar la viabilidad técnico-económica del uso de las celdas Peltier en la climatización de tableros eléctricos para prolongar la vida útil de la aparamenta eléctrica.

1.8 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar las condiciones de Funcionamiento de los tableros eléctricos sin sistemas de gestión térmica.
2. Identificar la aparamenta Eléctrica crítica en un proceso productivo.
3. Determinar los elementos que limitan la vida útil de la aparamenta Eléctrica.
4. Determinar la potencia de disipación en un tablero eléctrico.
5. Investigar la eficiencia de la celda Peltier aplicado como sistema de solución térmica.
6. Diseñar la configuración del módulo de climatización.
7. Implementar un módulo de Climatización con celdas Peltier.
8. Analizar Comportamiento energético presentado en el módulo fabricado.
9. Ejecutar el análisis económico del sistema propuesto.
10. Investigación de ofertas de productos disponibles para la solución térmica.
11. Determinar viabilidad entre los sistemas de climatización convencionales con los de estado sólido (con celdas Peltier).

II MÉTODO

2.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Investigación no Experimental

- Identificación de las necesidades y restricciones.
- Investigación de antecedentes.
- Determinación de la potencia de disipación en un tablero eléctrico.
- Diseño de posibles soluciones con Dispositivos termoeléctricos
- Selección de prototipo.
- Cálculos para el Diseño del prototipo.
- Configuración general del prototipo.
- Construcción de un prototipo con celdas Peltier.
- Análisis energético del prototipo en funcionamiento.
- Análisis económico del módulo termoeléctrico.

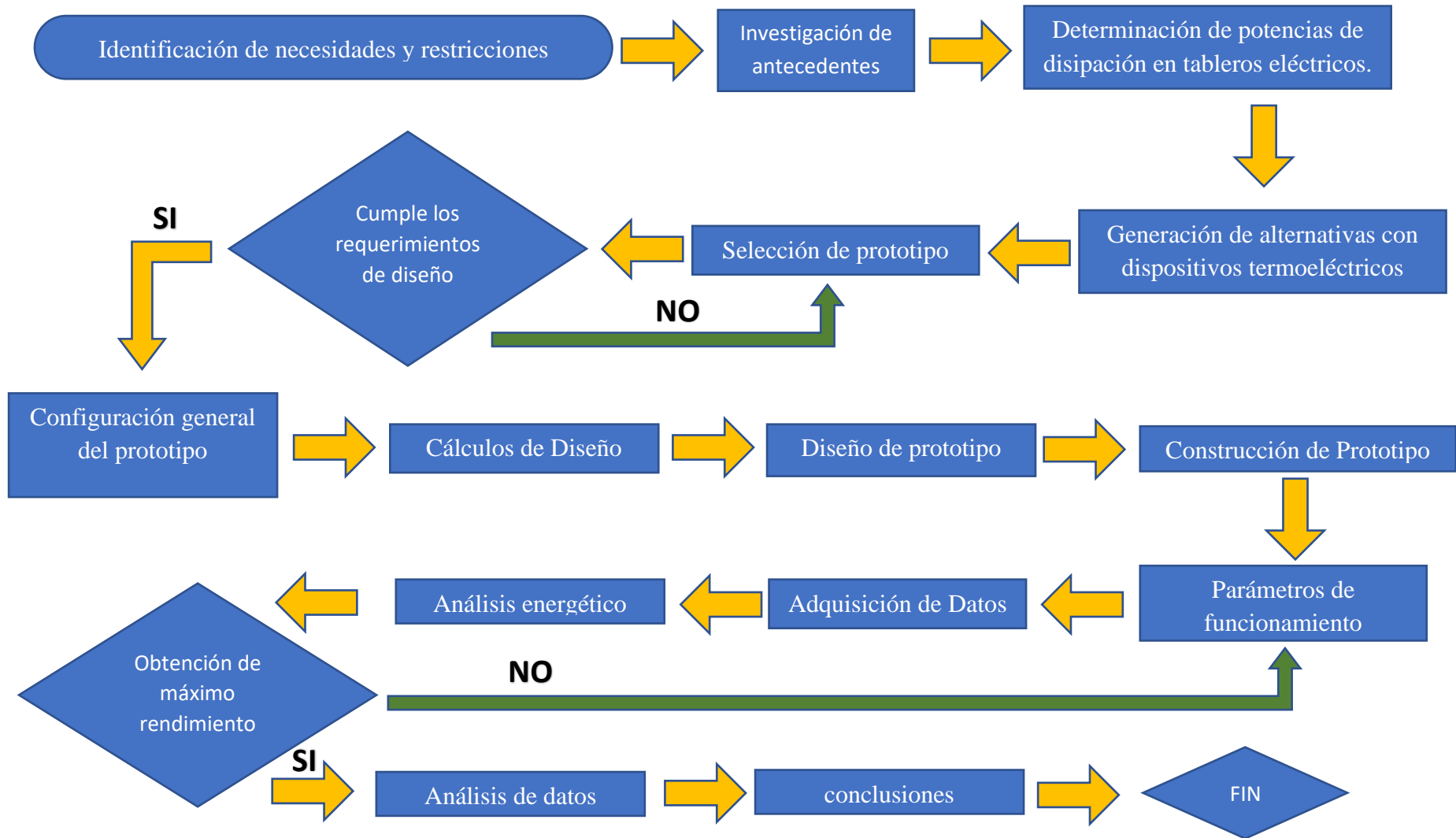


Figura 53. Metodología de Diseño – Diagrama de Flujo

2.2 VARIABLES

Para el Estudio de Viabilidad Técnico - económico: Se propone 4 tipos de variable: Variables Independientes, Variables dependientes, Parámetros de Definición de Problema y Variables intervinientes.

Para el diseño del módulo de climatización con celdas Peltier: Se propone 4 tipos de variable: Variables de Diseño, Variables de Solución, Parámetros de Definición de Problema y Variables intervinientes. Información extraída del libro Engineering Desing (Eggert,2010).

2.2.1. VARIABLES PARA EL ESTUDIO DE VIABILIDAD

Parámetros de Definición del Problema

Frecuencia de Interrupciones en la Producción (Ocurrencia / Mes)

Coefficiente de rendimiento Frigorífico, COP (Peltier vs Compresor)

Costo de la Energía Eléctrica (S//. Kw-Hr)

Variable de Independiente

Celdas Peltier en la climatización de Tableros eléctricos

Variable de Dependiente

Vida Útil de la Aparamenta Eléctrica

Variables Intervinientes

Temperatura del Ambiente T_a (°C)

Radiación solar. (W/m^2)

2.2.1 VARIABLES PARA EL SISTEMA DEL MODULO DE CLIMATIZACIÓN

2.2.1.1 Parámetros de Definición del Problema

Fuente de Alimentación (Red Pública, Energía Renovable Fotovoltaica)

2.2.1.2 Variables de Diseño

Temperaturas Deseas ($^{\circ}\text{C}$)

Carga Térmica de la Aparamenta(W)

Superficie del tablero (m^2)

Potencia de auto convección(W)

2.2.1.3 Variables de Solución

Costo de la Energía Eléctrica (S//. Kw-Hr)

Potencia Frigorífica BTU/Hr, (W)

2.2.1.4 Variables Intervinientes

Temperatura del Ambiente T_a ($^{\circ}\text{C}$)

Radiación solar. (W/m^2)

Diagrama de caja negra de viabilidad técnico-económica del uso de las celdas Peltier en la climatización de tableros eléctricos para prolongar la vida útil de la aparamenta eléctrica.

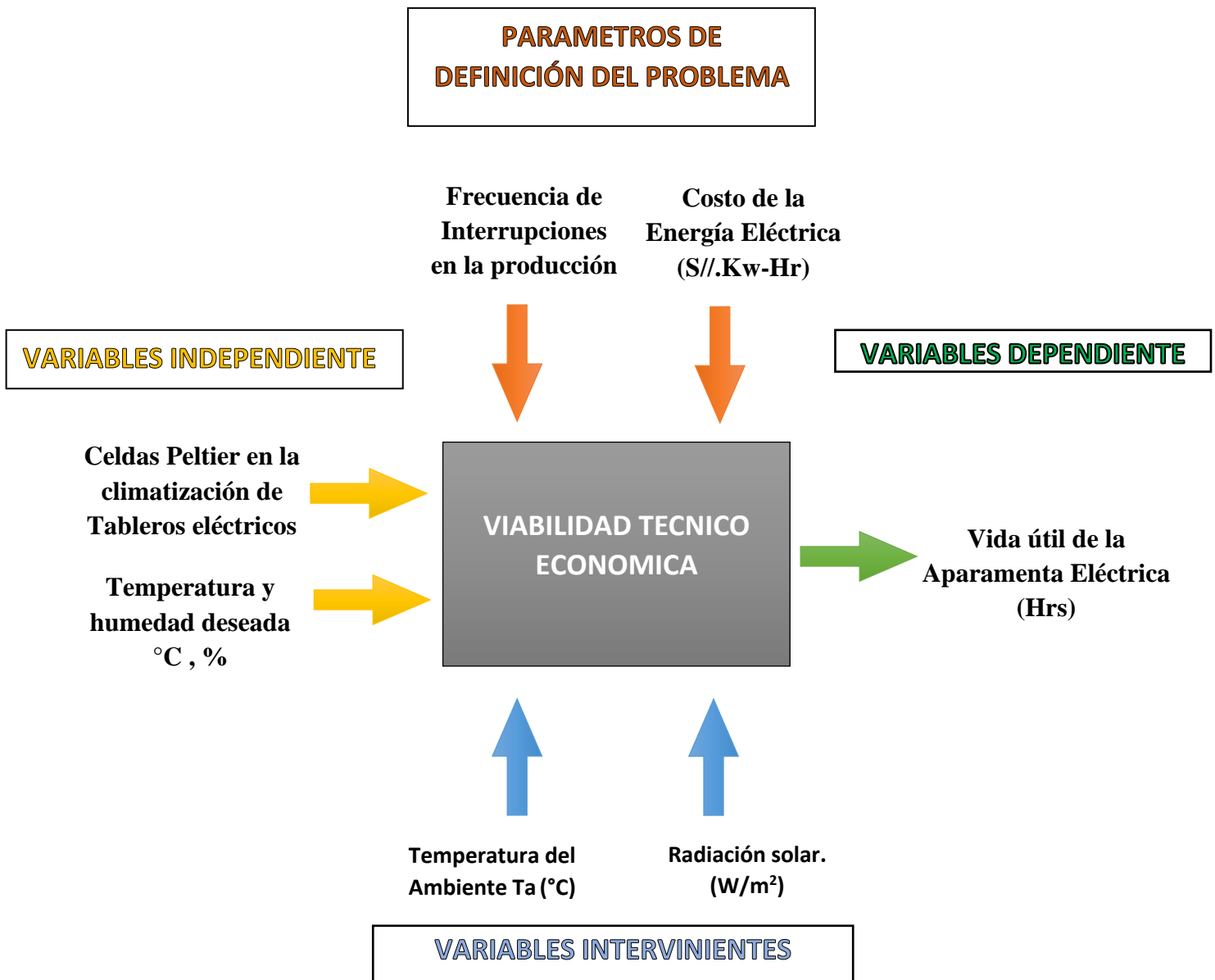


Figura 54. Diagrama de caja negra

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA 1. Operacionalización de Variables de VIABILIDAD TECNICO ECONOMICA

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Celdas Peltier en la climatización de tableros eléctricos	Aplicación de las celdas Peltier para crear las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y limpieza al interior del tablero eléctrico.	Rangos de Temperaturas en °C y humedad relativa en % medidos con un Termo anemómetro	°C RH %	Intervalo
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Vida Útil de la Aparamenta Eléctrica	Tiempo estimado de funcionamiento continuo de los dispositivos electrónicos instalados dentro de un tablero eléctrico.	Número de Horas Funcionamiento sin interrupciones.	Horas (Hr)	Intervalo

TABLA 2. Operacionalización de Variables de VIABILIDAD TECNICO ECONOMICA

VARIABLES INTERVINIENTES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Temperatura del Ambiente (°C)	Temperatura del medio ambiente que varía de acuerdo con las condiciones Climáticas °C.	Temperaturas en °C que se mide con un termómetro.	°C	Intervalo
Radiación Solar (W/m ²)	Coficiente de Energía transmitida del Sol por Radiación.	Coficiente de Radiación Solar en W/m ² tomados de los Datos Históricos del SENAMHI	W/m ²	Intervalo

DIAGRAMA DE CAJA NEGRA DE MODULO DE CLIMATIZACIÓN CON CELDAS PELTIER

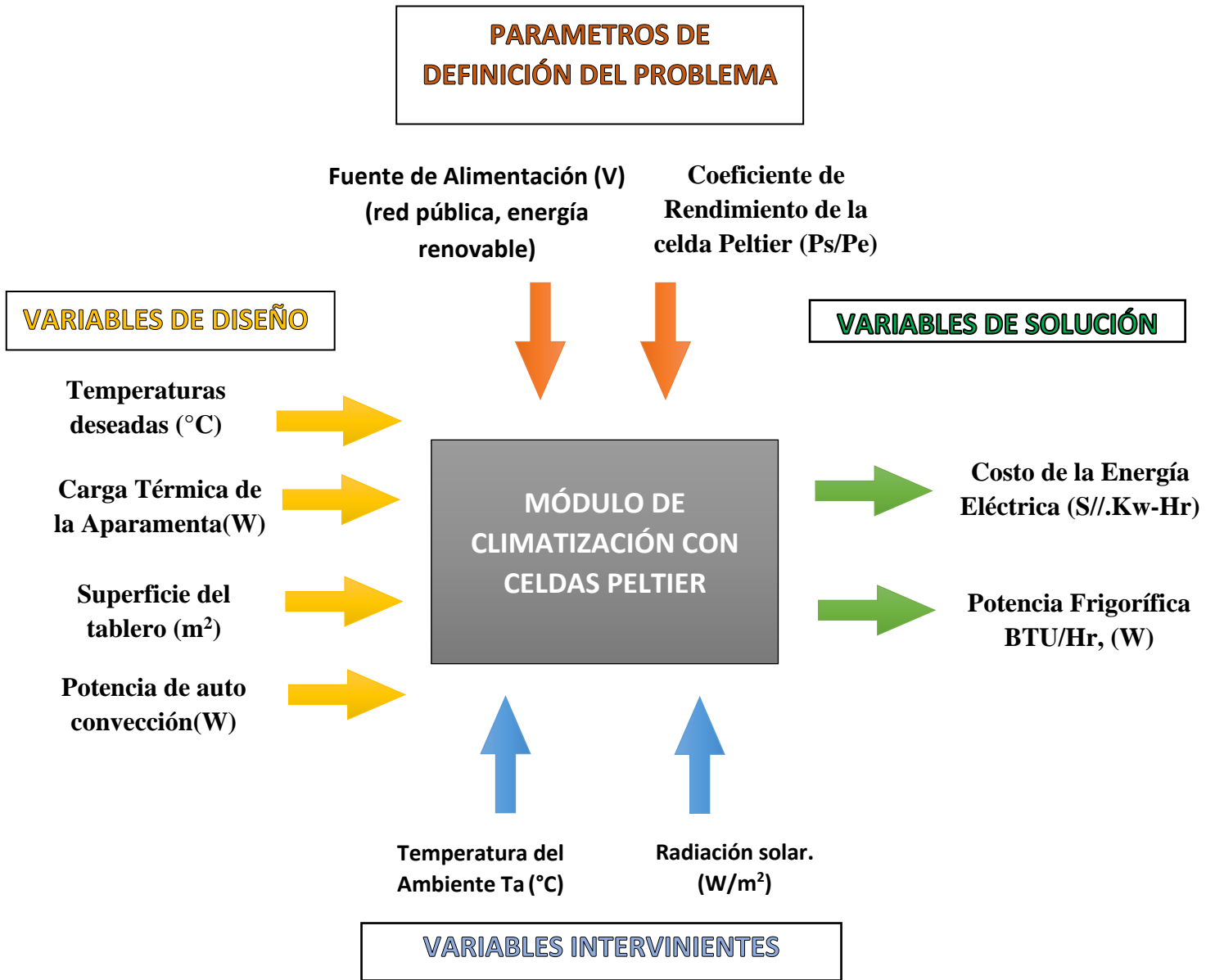


Figura 55. Diagrama de caja negra del módulo Peltier

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TABLA 3. Operacionalización de Variables

VARIABLES DE DISEÑO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Temperatura Deseadas (°C)	Temperatura en °C que se requiere al interior del tablero eléctrico.	Rangos de Temperaturas en °C que se controlará dentro del tablero con un sensor de temperatura o un termostato.	°C	Intervalo
Carga térmica de la aparamenta. (Watts)	Potencia en Watts de disipación que presentan todos los dispositivos al interior del tablero.	Potencia en Watts que disipan cada elemento instalado dentro del tablero durante su funcionamiento. Obtenidos de su ficha técnica o software ProClima 7.1.	W	Intervalo
Superficie del tablero. (m ²)	Área total del tablero eléctrico en m ² .	Área en m ² obtenidos de las dimensiones del tablero que contiene la aparamenta eléctrica.	m ²	Intervalo
Potencia auto convección. (Watts)	Potencia de pérdida en Watts que se disipan al ambiente a través de las paredes del tablero eléctrico. Depende del material y la superficie de contacto con el ambiente.	Potencia de auto convección en Watts del tablero eléctrico. Obtenidos mediante cálculos de transferencia de calor.	W	Intervalo

VARIABLES DE SOLUCION	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Costo de Energía Eléctrica (S./kw-Hr)	Valor obtenido del consumo de energía eléctrica durante el funcionamiento del módulo de climatización.	<ul style="list-style-type: none"> - Registrar Parámetros eléctricos durante la Operación del Climatizador con Celdas Peltier. - Tomar como referencia el costo por kw-hr del Recibo de Luz. - Calcular la Demanda de energía requerida. 	Soles (S./.)	Intervalo
Potencia Frigorífica. (BTU/Hr o Watts)	Valor obtenido de las demandas de potencia de disipación total.	Resultado de la capacidad de refrigeración en BTU/Hr que logra compensar el módulo Peltier para mantener una temperatura estable dentro del tablero eléctrico.	BTU/Hr O Watts	Intervalo

2.3 POBLACIÓN Y MUESTRA:

POBLACIÓN:

Tableros con aparatación eléctrica: Dispositivos de maniobra y control asociados para gobernar procesos productivos.

MUESTRA:

Representación de un modelo de Tablero Normalizado *Nema 4 con dimensiones de 70x50x25cm.

- 01 tablero de 70x50x25 cm con aislamiento térmico.

2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

Técnicas:

Observación, análisis Documental y Experimentación

Instrumento:

Registro de Cotizaciones en equipos de climatización.

Fichas técnicas de los equipos de climatización comerciales

Protocolo de Pruebas con parámetros termoeléctricos.

- Uso de Termo anemómetro Digital, Sensor de velocidad de aire, Temperatura y humedad relativa.
- Cámara termográfica
- Controles de Temperatura electrónicos.

Validez y Confiabilidad

. Instrumentos calibrados y certificados.

. Validez por especialista.

2.5 Métodos de análisis de datos

Los Datos obtenidos durante los ensayos al módulo termoeléctrico serán registrados y archivados en un protocolo de pruebas.

El Análisis termoeléctrico, análisis energético, simulación de la climatización, curvas de operación de temperatura, flujo de aire y humedad relativa, serán comparados con los cálculos realizados a fin de determinar la máxima eficiencia del módulo.

III RESULTADOS.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES Y RESTRICCIONES

Las Necesidades se determinan por Observación y experiencia en el servicio de solución problemas eléctricos en Empresas que cuentan con maquinaria para la producción bienes (Fábricas de cemento, cerámica, tratamiento de vidrios, Calzado, máquinas herramientas de arranque de viruta, plantas de carbón, molinos entre otros). Siendo las que tienen un ambiente con mayor grado polución las que presentan fallas repentinas y recurrentes. Las frecuencias de ocurrencia son de 3 vez por mes.

Los equipos que se consideran como críticos tienen dispositivos electrónicos albergados en un tablero eléctrico con bajo índice de estanqueidad que no toleran esos ambientes y fallan por contaminación y/o sobre temperatura.

Tabla 4: Resumen de las Causas de Fallas en Tableros Eléctricos

Empresas	Causas de Fallas en Tableros Eléctricos			
	Térmicas	Contaminación	Dimensionamiento	Instalación
Carpintería	20%	50%	20%	10%
Minería	40%	40%	10%	10%
Construcción	30%	40%	10%	20%
Tratamientos de Vidrios	20%	60%	10%	10%
Calzado	30%	50%	10%	10%
Maquinas herramientas	20%	60%	10%	10%
Procesadoras de carbón	20%	50%	20%	10%
Molinos	20%	60%	10%	10%

Fuente: Elaboración propia

Los problemas encontrados relacionados con las causas de falla de los tableros eléctricos eran, en mayor porcentaje, debido a la baja estanqueidad del tablero y sin control de temperatura.

*Estanqueidad: Terminó utilizado para referirse al grado de protección que presenta un cuadro eléctrico a ser invadido por partículas sólidas y/o Líquidas. Definidos por la Norma Internacional IEC 60529 (IP).

NORMAS Y CÓDIGOS PERTINENTES

Los Códigos y Normas relacionados con el diseño del modulo de Climatización con Celdas Peltier.

Norma IEC 60529 INDICE DE PROTECCIÓN (IP)

Esta norma establece los grados de protección con los que debe contar un tablero eléctrico frente a la invasión de elementos extraños como partículas sólidas y Líquidos. Sirvió como referencia para el diseño, fabricación e instalación del módulo termoeléctrico bajo la terminología y grados de estanqueidad correcta.

DIRECTIVA RoHS

Directiva Europea que detalla las restricciones a la Utilización de Determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y Electrónicos. Con la finalidad de proteger al medio ambiente y la salud humana. Esta directiva se utilizó para consultar si los elementos que contienen las celdas peltier son catalogados como peligrosos e inoos para la salud, definiendolo como elemento “verde”de bajo riezgo, pero con el cuidado de una adecuada disposición y segregación.

Norma IEC 61439

Es un estándar proveniente de la IEC con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento de los tableros eléctricos con secciones para: conjuntos armados, tableros de repartición, tableros de distribución hasta consideración en vehículos eléctricos. En esta investigación se utilizó la Sección IEC 61439-1 para justificar el método de determinación del aumento de temperaturas en tableros eléctricos por método de cálculo de disipación de potencias de la aparamenta eléctrica y también utilizando el Software de cálculo térmico por materiales.

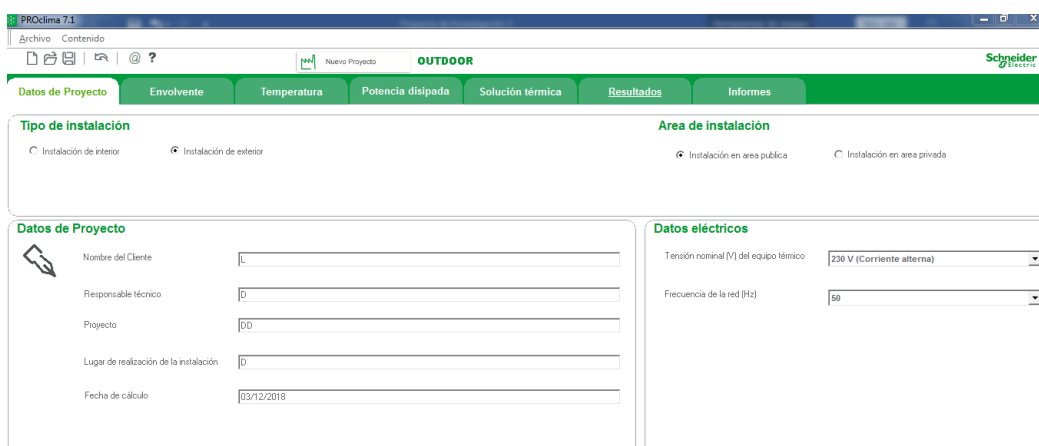
3.2 DETERMINACIÓN DE POTENCIAS DE DISIPACIÓN EN TABLEROS ELECTRICOS

El método de determinación de potencia se apoya del software ProClima 7.1.

Es un Programa que la Compañía Schneider Electric puso a disposición de los diseñadores para que calculen rápidamente las potencias térmicas requeridas a disipar cuando se realizara instalaciones con sus productos. Sirve también como referencia para estimar las cargas térmicas de los productos de otros fabricantes de la misma gama, pero con cierto error, por lo cual es recomendable recurrir a la ficha técnica de cada dispositivo a emplear.

Permite la gestión térmica del envolvente o tablero que se cuenta en el proyecto. Se escoge el tipo de material y las dimensiones del tablero, si se va a instalar al interior o la intemperie y así también el tipo de montaje. Luego, se definen las condiciones de temperatura a las que será sometido, en consideración se recomienda un estudio de las temperaturas extremas a las que llega el lugar donde será ubicado el tablero. Posteriormente se proponen la temperatura a la que se desea mantener dentro del tablero en un rango, también configurable.

Permite especificar la potencia disipada de la aparamenta en 3 opciones: por potencia conocida, por cálculo a partir del material y, por cálculo de potencia de lecturas de temperatura a partir de un registrador de datos o dataloggers. La solución térmica que ofrece va desde cubrir problemas por sobre temperatura hasta corregir problemas por humedad y condensación.



The screenshot displays the ProClima 7.1 software interface. At the top, there is a navigation bar with tabs for 'Datos de Proyecto', 'Envolvente', 'Temperatura', 'Potencia disipada', 'Solución térmica', 'Resultados', and 'Informes'. The 'Datos de Proyecto' tab is active. Below the navigation bar, there are two main sections: 'Tipo de instalación' and 'Area de instalación'. The 'Tipo de instalación' section has radio buttons for 'Instalación de interior' and 'Instalación de exterior', with 'Instalación de exterior' selected. The 'Area de instalación' section has radio buttons for 'Instalación en area pública' and 'Instalación en area privado', with 'Instalación en area pública' selected. Below these sections, there are two columns of input fields. The left column, titled 'Datos de Proyecto', includes fields for 'Nombre del Cliente', 'Responsable técnico', 'Proyecto', 'Lugar de realización de la instalación', and 'Fecha de cálculo'. The right column, titled 'Datos eléctricos', includes dropdown menus for 'Tensión nominal (V) del equipo térmico' (set to 230 V) and 'Frecuencia de la red (Hz)' (set to 50).

Figura 56. Vista del Programa para cálculo térmico ProClima 7.1

Fuente: Schneider Electric Company (2017)

3.3 POTENCIA DISIPADA EN EL TABLERO ELECTRICO

CÁLCULO TERMICO DE LA APARAMENTA ELECTRICA DEL TABLERO.



Figura 57. Aparatura eléctrica instalada en placa de montaje.



Figura 58. Aparatura eléctrica instalada en el tablero, vista general.

TABLA 5. Lista de Dispositivos Instalados con su respectiva disipación de potencia.

Descripción	Potencia de disipación (W)	Cantidad	Total (W)
Interruptor diferencial tetrapolar 63 A4P	13	1	13
Interruptor termomagnético sobre riel DIN 20A	3	1	3
Interruptor termomagnético sobre riel DIN 10A	2	1	2
Guardamotor <25A	4	1	4
Fuente de Alimentación 36W 24VDC	3	1	3
Fuente de alimentación 400W 12VDC	10	1	10
Micro PLC LOGO 12/24RC	2.2	1	2.2
Módulo de entradas analógicas	0.4	1	0.4
Módulo de expansión I/O	0.7	2	1.4
Relés 11pines a 220vac	3	5	15
Ventilador de Climatizador	1	1	1
Transductor A/mA	2	1	2
Repartidor Tetrapolar	1	1	1
Controles de Temperatura	1	4	4
TOTAL, GENERAL (WATTS)			62

Fuente: Elaboración Propia

POTENCIA DE DISIPACIÓN EN INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS:

La potencia disipada es proporcional al cuadrado de la intensidad que los recorre:

$$P_w = P_n \left(\frac{I}{I_n}\right)^2 \quad \dots(38)$$

P_n= Potencia disipada a la intensidad nominal de empleo I_n.

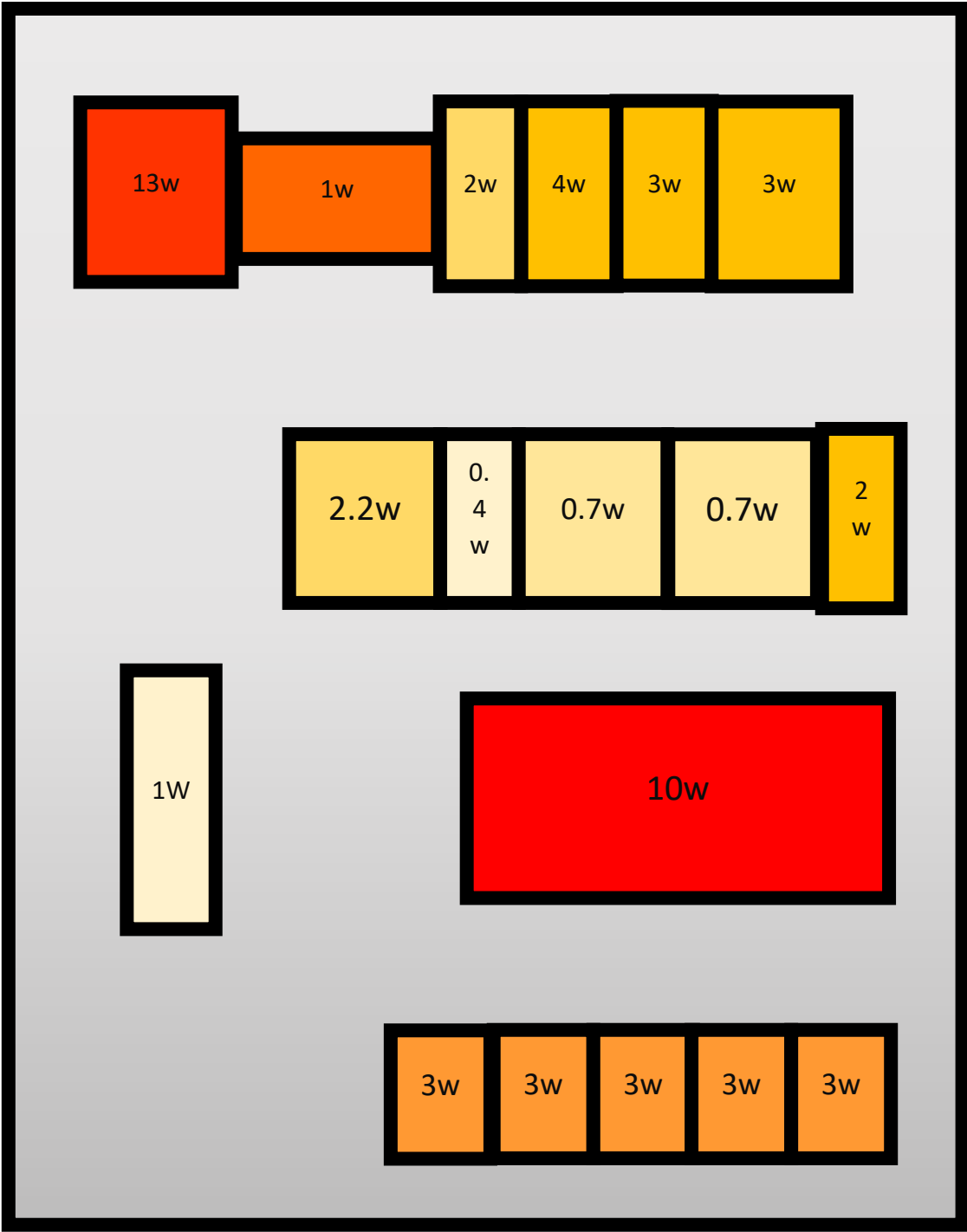


Figura 59. Potencia disipada de la apartamenta instalada en la placa, 58 watts.

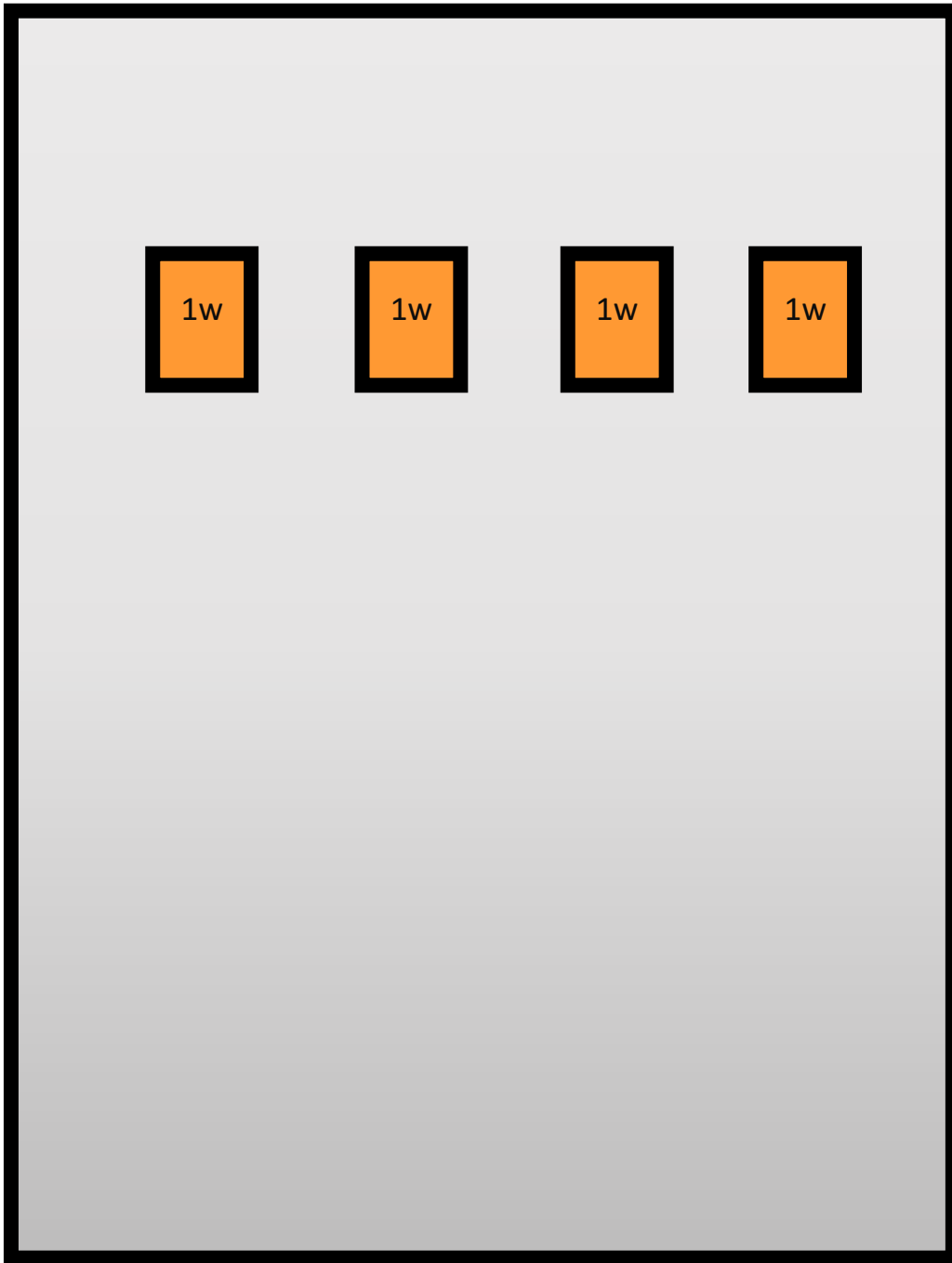


Figura 60. Potencia disipada de la aparamenta instalada en el panel, 4 watts.

RESULTADOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE PROCLIMA 7.1:

Datos eléctricos

Tensión nominal (V) del equipo térmico	230 V
Frecuencia de la red (Hz)	60 Hz

Envolvente

MODELO ARMARIO	NSYS3HD7525
Altura del armario (mm)	700 mm
Anchura del armario (mm)	500 mm
Profundidad del armario (mm)	250 mm
Material	ACERO INOXIDABLE
Situación:	Situado contra una pared
Color del Armario	Ral 7035
Familia de armarios	SPACIAL SFHD

Datos del entorno Exterior

Temperatura máxima esperada en el exterior armario	21 °C
Temperatura mínima esperada en el exterior armario	18 °C
Humedad relativa fuera del armario (%)	70
Radiación Solar (W/m ² Max)	1400
Interior	
Temperatura máxima deseada en el interior armario	25 °C
Temperatura mínima deseada en el interior armario	20 °C
Otros	
Altura sobre el nivel del mar (m)	01 m

CALCULOS

Superficie efectiva del armario según IEC 60.890	0.98 m ²
Potencia de auto convección:	15 W
Potencia disipada	62 W
Potencia frigorífica necesaria	172 W

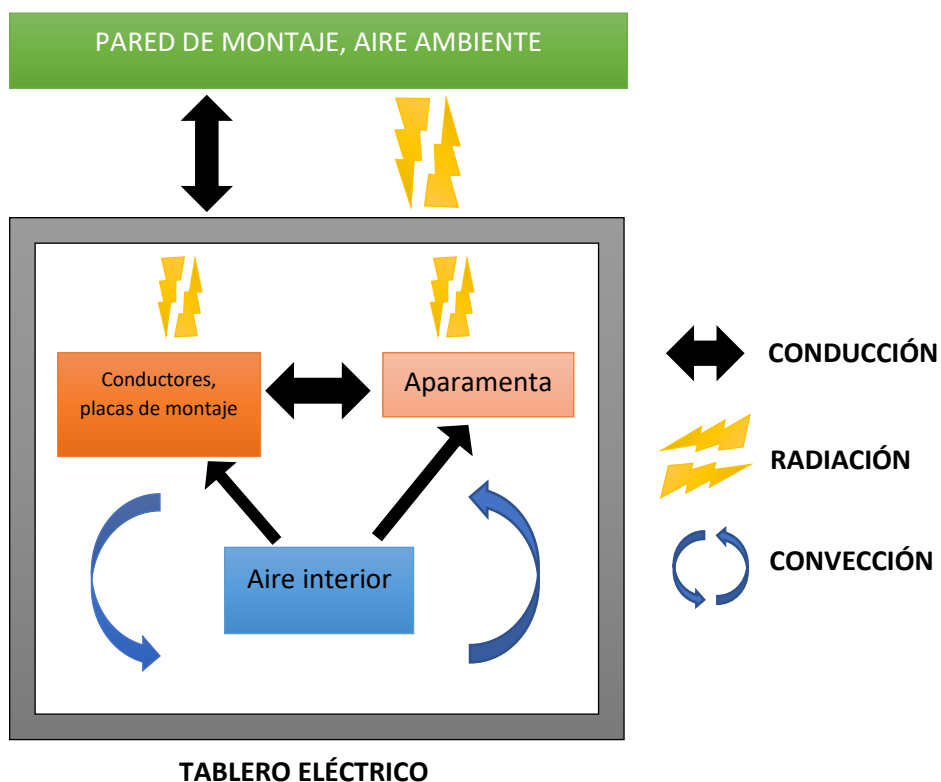


Figura 61. Comportamiento Térmico del Tablero

CALCULOS DE LA POTENCIA DE AUTO CONVECCIÓN

La auto convección hace referencia a la potencia que se disipa al ambiente a través de las paredes del tablero. Como condición, la temperatura ambiente debe ser menor que la temperatura interior del tablero.

$$Q_p = KxA(T_p - T_a) \dots (38)$$

Q_p = Potencia de disipación a través de la superficie del tablero [W].

K = Coeficiente de transmisión calorífica del armario [$\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$]. Para chapa de acero $k=5.5$ $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$

A = Potencia efectiva Radiada por la superficie del tablero según IEC 890 [m^2].

T_p = Temperatura de Pared del Tablero [°C].

T_a = Temperatura Ambiente [°C].

- FUENTE: Catálogo técnico de Rittal/ Gestión Climática (2012)

Partiendo de las condiciones demandadas se tiene:

$$Q_p = 5.5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{°C} \right] \cdot xA(T_p - T_a) \quad \dots(39)$$

ÁREA EFECTIVA RADIANTE DEL TABLERO

Superficie efectiva = Superficie total - Área en contacto con la



Figura 62. vista superior del tablero eléctrico

Altura (a): 0.7 m, Ancho (b): 0.5 m, Profundidad (c): 0.25 m

$$S_{ef} = (axb) + 2(axc) + 2(bc) \quad \dots(40)$$

$$S_{ef} = (0.7 \times 0.5) + 2(0.7 \times 0.25) + 2(0.5 \times 0.25)$$

$$S_{ef} = 0.95 \text{ m}^2$$

Resolviendo:

$$Q_p = 5.5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{°C} \right] \cdot x0.95 \text{ m}^2 (24 - 21)$$

$$Q_p = 5.5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{°C} \right] \cdot x0.95 \text{ m}^2 (24 - 21)$$








$$Q_p = 15.6 \text{ W}$$

El cálculo de superficie efectiva se realizó de manera deductiva partiendo de las características de montaje que tendría el tablero, sin embargo, se deben realizar los ajustes de acuerdo a las normas y estándares establecidos, que recomiendan los métodos de dimensionamiento para la gestión térmica de los tableros eléctricos. La norma CEI 890 es una de ellas.

ÁREA EFECTIVA RADIANTE DEL TABLERO SEGÚN NORMA CEI 890

La norma IEC 890 Establece un método de evaluación del aumento de la temperatura mediante extrapolación para ensamblajes parcialmente probados (PTTA) de equipos de conmutación y control de bajo voltaje.

CARACTERISTICAS DEL TABLERO

Posición del armario	Emplazamiento según norma CEI 890	Fórmula para el cálculo de S (m ²)		
		(A) Alto	(B) Ancho	(C) Prof.
	Accesible desde todos los lados	$S = 1,8 \times A \times (B+C) + 1,4 \times B \times C$		
	Situado contra una pared	$S = 1,4 \times B \times (A+C) + 1,8 \times C \times A$		
	Extremo en caso de yuxtaposición	$S = 1,4 \times C \times (A+B) + 1,8 \times B \times A$		
	Extremo en caso de yuxtaposición y situado contra una pared	$S = 1,4 \times A \times (B+C) + 1,4 \times B \times C$		
	Intermedio en la yuxtaposición	$S = 1,8 \times B \times A + 1,4 \times B \times C + C \times A$		
	Intermedio en la yuxtaposición y situado contra una pared	$S = 1,4 \times B \times (A+C) + C \times A$		
	Intermedio en la yuxtaposición, situado contra una pared y la parte superior cubierta	$S = 1,4 \times B \times A + 0,7 \times B \times C + C \times A$		

$S =$	m ²
-------	----------------

Figura 63. Cálculos de las superficies efectivas de disipación de potencia en función del montaje del tablero.

Fuente: Himel (s.f). Sistemas de Gestión Térmica para envolventes Eléctricos y Electrónicos.

De la tabla se escoge el emplazamiento; situado contra la pared. Donde:

$$S_{ef} = 1.4x Bx(A + C) + 1.8xCxA \quad \dots(40)$$

$$S_{ef} = 1.4x 0.5x(0.7 + 0.25) + 1.8x0.25x0.7$$

$$S_{ef} = 0.98 m^2$$

Resolviendo:

$$Qp = 5.5 \left[\frac{W}{m^2} \text{ } ^\circ\text{C} \right] .x0.98 \text{ m}^2(24^\circ - 21^\circ)$$
$$Qp = 16.17 \text{ W}$$

CARACTERISTICAS DEL AIRE AMBIENTE

rangos de temperatura estimados:

Temax: 21°C

Temin: 18°C

Humedad relativa: 70%

TEMPERATURAS INTERNAS MEDIAS DESEADAS:

Tdmax: 25°C

Tdmin: 20°C

TEMPERATURAS TEMPERATURA FINAL EN EL TABLERO SIN EQUIPO CLIMATIZADOR:

$$T_{imax} = \frac{Pd}{KxSe_f} + T_{emax} \quad \dots(41)$$

$$T_{imax} = \frac{(62 + 16.17)}{5.5x0.98} + 21$$

$$T_{imax} = 35.5^\circ\text{C}$$

$$T_{imin} = \frac{Pd}{KxSe_f} + T_{emin} \quad \dots(42)$$

$$min = \frac{(62 + 16.17)}{5.5x0.98} + 18$$

$$min = 32.5^\circ\text{C}$$

*Las temperaturas que alcanzarían los elementos dentro del tablero se encuentran en un rango de temperaturas promedio de servicio aceptable de los dispositivos con los que se puede solucionar a base de una instalación por ventilación forzada. Pero, esta investigación con el fin de hacerlo escalable y demostrar la viabilidad del uso de las celdas Peltier se mantendrá en aplicar esta alternativa.

3.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA FRIGORÍFICA NECESARIA:

Se realizará las sumas de potencia de disipación del tablero omitiendo la potencia de disipación por radiación.

$$P_{fr} = P_d - Q_p \quad \dots(43)$$

$$P_r = KxA(T_1 - T_\alpha) \dots(38)$$

P_{fr} : Potencia Frigorífica del climatizador [W]

P_v : Potencia por disipación [W]

P_r : ganancia o pérdida de calor radiante (no se considera aislamiento) [W].

T_1 = Temperatura deseada al interior del tablero [°C].

T_α = Temperatura Ambiente [°C].

$$P_{fr} = P_d - [KxA(T_p - T_\alpha)] \dots(44)$$

$$P_{fr} = 78.17 - [5.5 \times 0.98(22 - 21)]$$

$$P_{fr} = 72.78W$$

La potencia de absorción frigorífica necesaria por el sistema climatización a base de celdas Peltier deberá cubrir la demanda de 72.78W.

SELECCIÓN DE DISIPADOR:

Se analiza las prestaciones de los disipadores de aluminio para el módulo Peltier

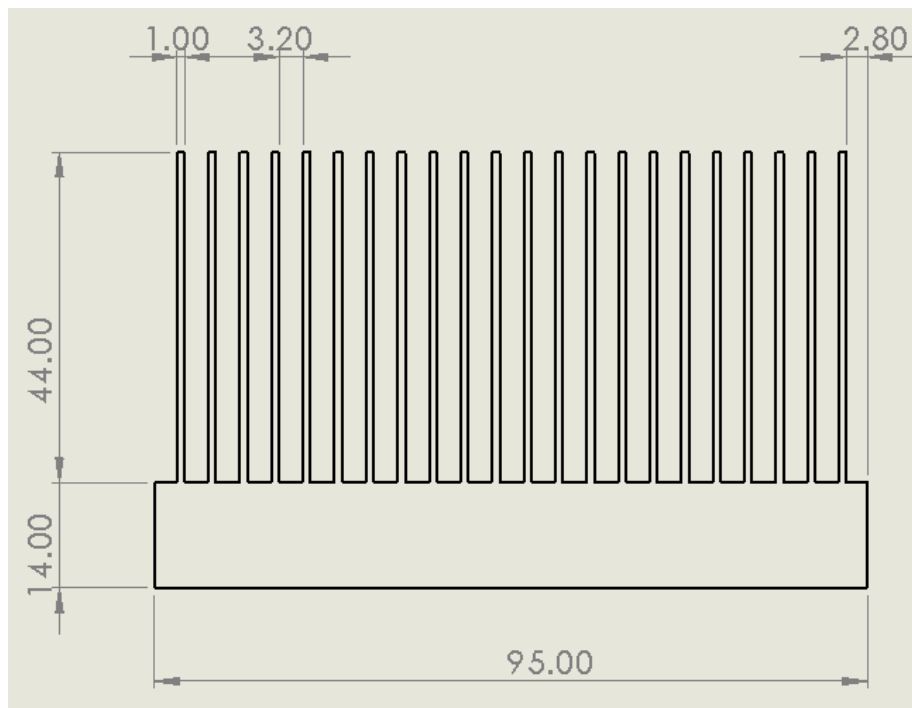
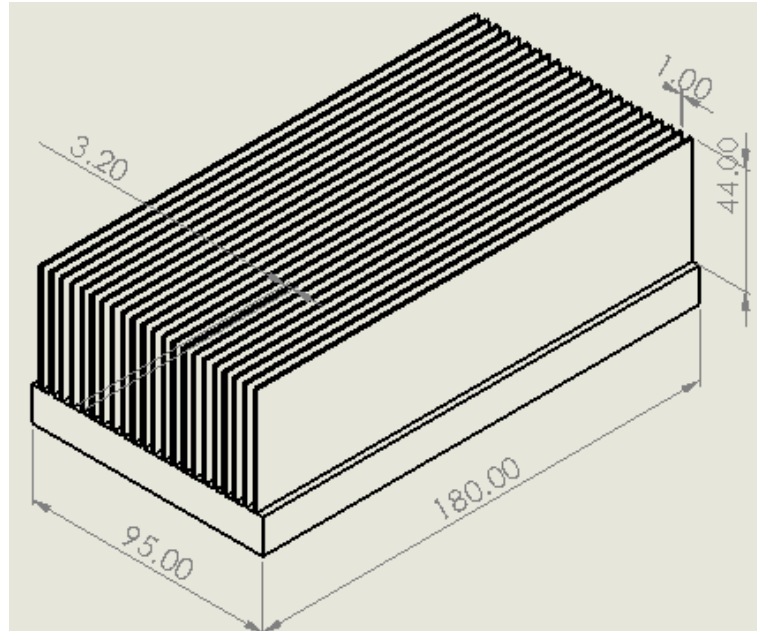


Figura 64. Dimensiones del Disipador de Aluminio para la cara interior Fría del Módulo Peltier.

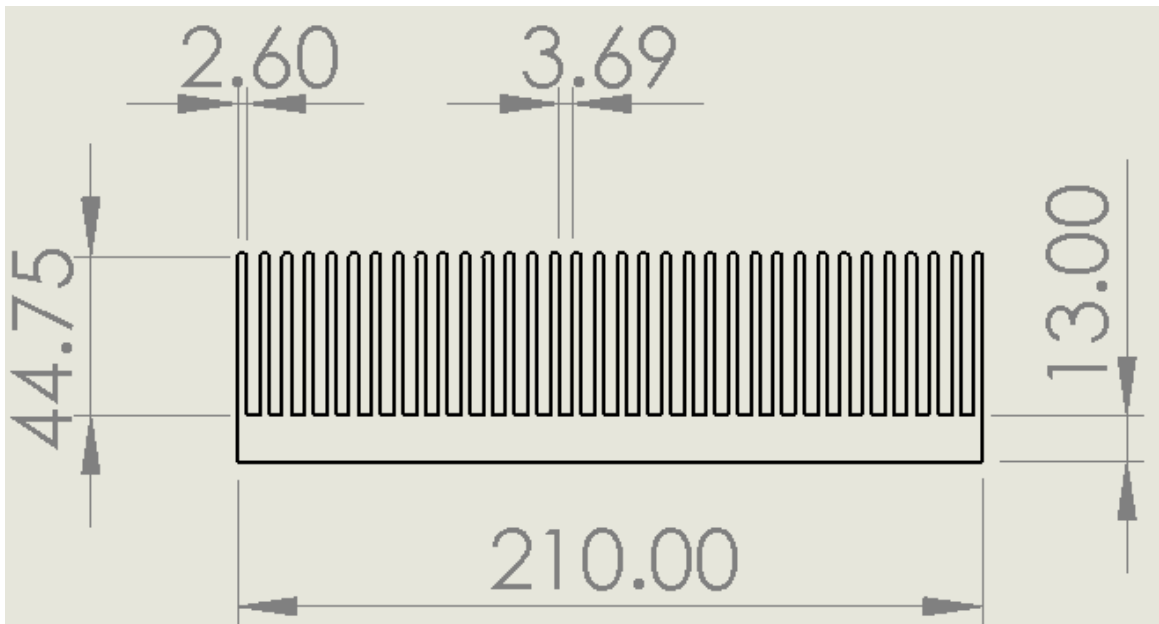
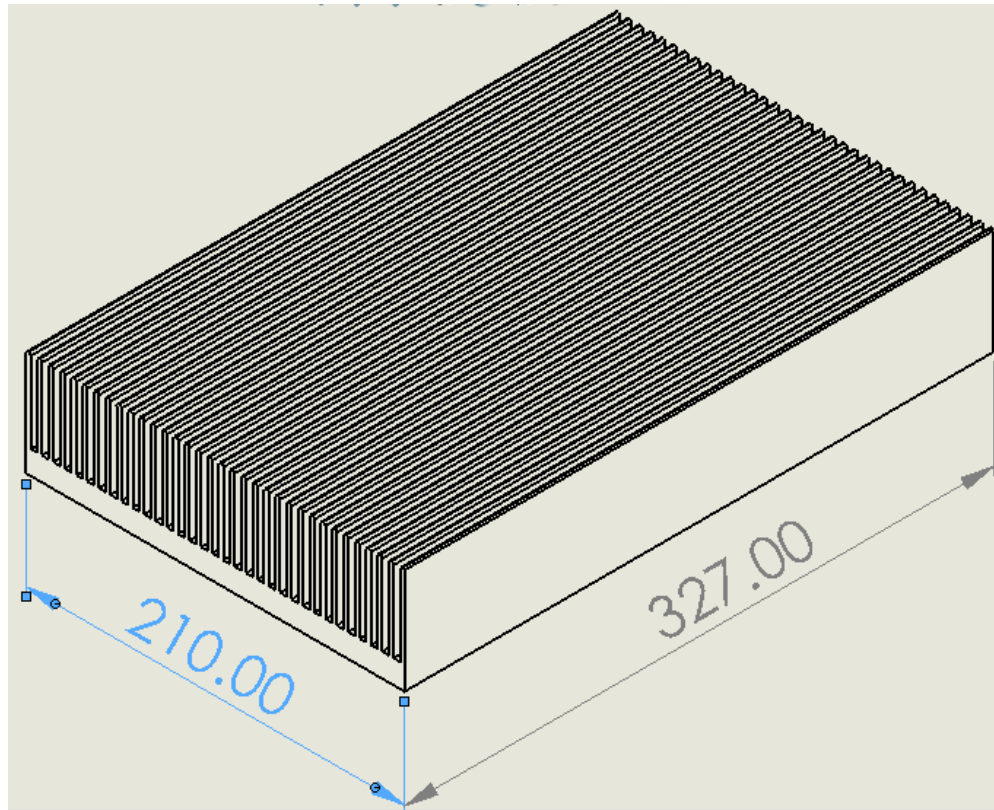


Figura 65. Dimensiones del Disipador de Aluminio para la cara Exterior Caliente del Módulo Peltier.

La transferencia de Calor del sistema será por convección forzada y los ventiladores utilizados serán de 100m³/hr.

El objetivo es encontrar la eficiencia frigorífica alcanzada por el sistema con estos elementos que reducen la diferencia de temperatura en ambas caras. Ya que, el COP es inversamente proporcional con la diferencia de Temperatura que hay entre las caras caliente y fría del módulo Peltier.

Temperatura máxima de la cara caliente:

$$Qd = 9.69 + 6.96\sqrt{v} \cdot x \ 1.05037 \ m^2(Tmax - Tamb)$$

Qd: Potencia de disipación del Aluminio de la cara caliente = potencia eléctrica de los Peltier

1.05037 m²: Superficie de convección del disipador

Tmax: Temperatura máxima del Disipador

Tamb: Temperatura del medio Ambiente 25°C

V: velocidad del aire del ventilador en m/s. medidos con el termo anemómetro = 5 m/s

$$415W = 9.69 + 6.96\sqrt{v} \cdot x \ 1.05037 (Tmax - Tamb)$$

$$Tmax = 50^{\circ}C$$

Potencia Absorbida del Interior del Tablero:

$$Qd = 9.69 + 6.96\sqrt{v} \cdot x \ 0.36558 \ m^2(28^{\circ}C - 17^{\circ}C)$$

$$Qd = 53.05W$$

La diferencia de Temperatura entre las Caras es 50°C-17°C= 33°C

Bajo estas condiciones el COP =53/415 = 0.127

3.5 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS CON DISPOSITIVOS TERMOELÉCTRICOS

Para determinar la mejor alternativa y satisfacer los requerimientos de la Investigación se generará una serie de opciones en lo que respecta al montaje del dispositivo de Climatización. Dando Prioridad a la Practicidad y simplificación en la cantidad de elementos de ensamblaje requeridos. Utilizando matriz ponderada de Selección.

ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE MÓDULO CLIMATIZADOR CON CELDAS PELTIER.

ALTERNATIVA 1

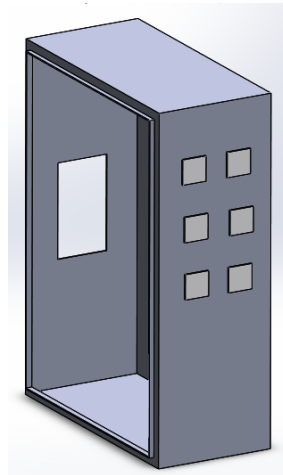


Figura 66. Instalación de Celdas Peltier sin disipadores

Las celdas Peltier son Instalados directamente en la carcasa del tablero. De esta manera la carcasa será la que absorbe la energía disipada de los elementos internos. Estará sin disipadores y realiza la transferencia de calor por convección. Su operación será menor a un minuto debido a que rápidamente alcanza la diferencia de temperatura, pero con las consecuencias de dañar los Peltier por su elevada temperatura de funcionamiento.

ALTERNATIVA 2

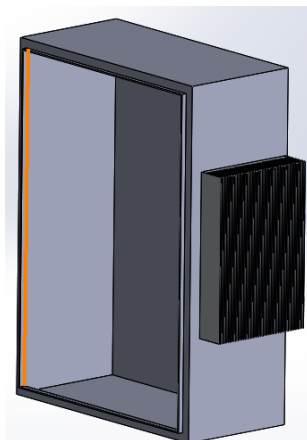


Figura 67. Instalación de Celdas Peltier con dissipador en la cara caliente

Las celdas Peltier son instalados directamente en la carcasa del tablero. De esta manera la carcasa será la que absorbe la energía disipada de los elementos internos. Estará sin dissipadores y realiza la transferencia de calor por convección. Su operación será menor a un 10 minutos debido a que la zona de disipación llega a más de 90°C, con las consecuencias de dañar los Peltier por su elevada temperatura de funcionamiento y exponer al usuario a quemaduras.

ALTERNATIVA 3

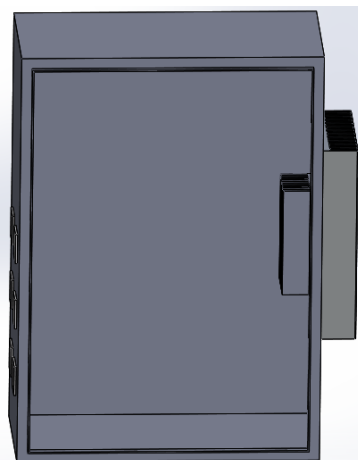


Figura 68. Instalación de Celdas Peltier con dissipador en ambas caras

Las celdas Peltier son instalados sobre 2 dissipadores de Aluminio para concentrar las temperaturas y mejorar la transferencia. De esta manera, el Aluminio que se encuentra dentro del tablero absorberá el calor disipado por los elementos internos y los transportará hacia el dissipador exterior de la cara caliente exponiéndolo al ambiente. La transferencia de calor en

ambas caras se realiza por convección. Se requiere alrededor de 4 horas de funcionamiento para reducir 1°C debido a que no hay un Flujo constante que concentre el calor hacia el disipador frio. El disipador exterior llega a más de 100°C exponiendo al usuario a posibles quemaduras.

ALTERNATIVA 4

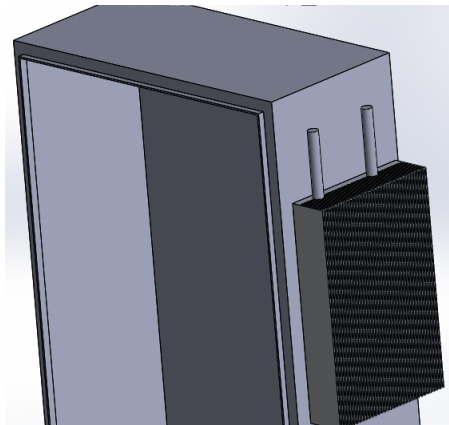


Figura 69. Instalación de Celdas Peltier con disipador en ambas caras y refrigeración por agua de la cara caliente.

Las celdas Peltier son Instalados sobre 2 disipadores de Aluminio para concentrar las temperaturas y mejorar la transferencia. De esta manera, el Aluminio que se encuentra dentro del tablero absorberá el calor disipado por los elementos internos y los transportará hacia el disipador exterior de la cara caliente exponiéndolo al ambiente. La transferencia de calor en ambas caras se realiza por convección. Se requiere alrededor de 4 horas de funcionamiento para reducir 1°C debido a que no hay un Flujo constante que concentre el calor hacia el disipador frio. El disipador exterior tiene temperatura controlada y que no llega a más de 40°C debido a que es refrigerado por agua.

ALTERNATIVA 5

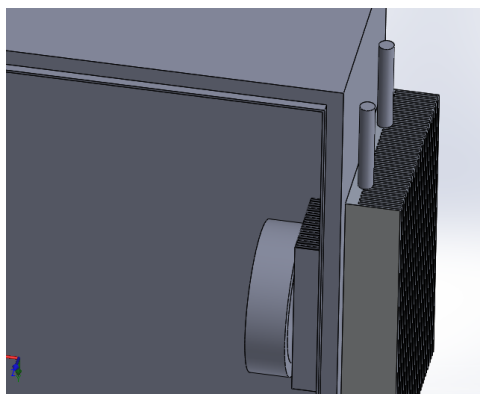


Figura 70. Instalación de Celdas Peltier con disipador en ambas caras y refrigeración por agua de la cara caliente y ventilador en la cara fría.

Las celdas Peltier son Instalados sobre 2 disipadores de Aluminio para concentrar las temperaturas y mejorar la transferencia. De esta manera, el Aluminio que se encuentra dentro del tablero absorberá el calor disipado por los elementos internos y los transportará hacia el disipador exterior de la cara caliente exponiéndolo al ambiente. La transferencia de calor en ambas caras se realiza por convección. Se requiere alrededor de 2 min de funcionamiento para reducir 1°C debido a que hay un Flujo constante que concentre el calor hacia el disipador frio. El disipador exterior tiene temperatura controlada y que no llega a más de 40°C debido a que es refrigerado por agua. Requiere un circuito con agua toma de agua para su funcionamiento.

ALTERNATIVA 6

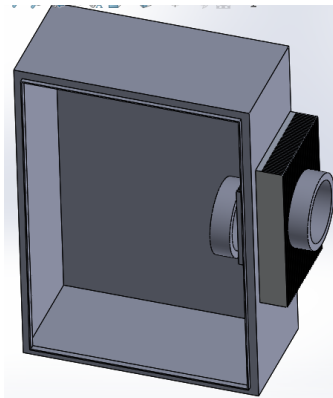


Figura 71. Instalación de Celdas Peltier con disipador en ambas caras y ventilación Forzada

Las celdas Peltier son Instalados sobre 2 disipadores de Aluminio para concentrar las temperaturas y mejorar la transferencia. De esta manera, el Aluminio que se encuentra dentro del tablero absorberá el calor disipado por los elementos internos y los transportará hacia el disipador exterior de la cara caliente exponiéndolo al ambiente. La transferencia de calor en ambas caras se realiza por convección Forzada. Se requiere alrededor de 2 min de funcionamiento para reducir 1°C debido a que hay un Flujo constante que concentre el calor hacia el disipador frio. La temperatura del disipador no llega a mas de 55°C. Es Compacto, fácil de transportar y no requiere otras fuentes de energía para su funcionamiento.

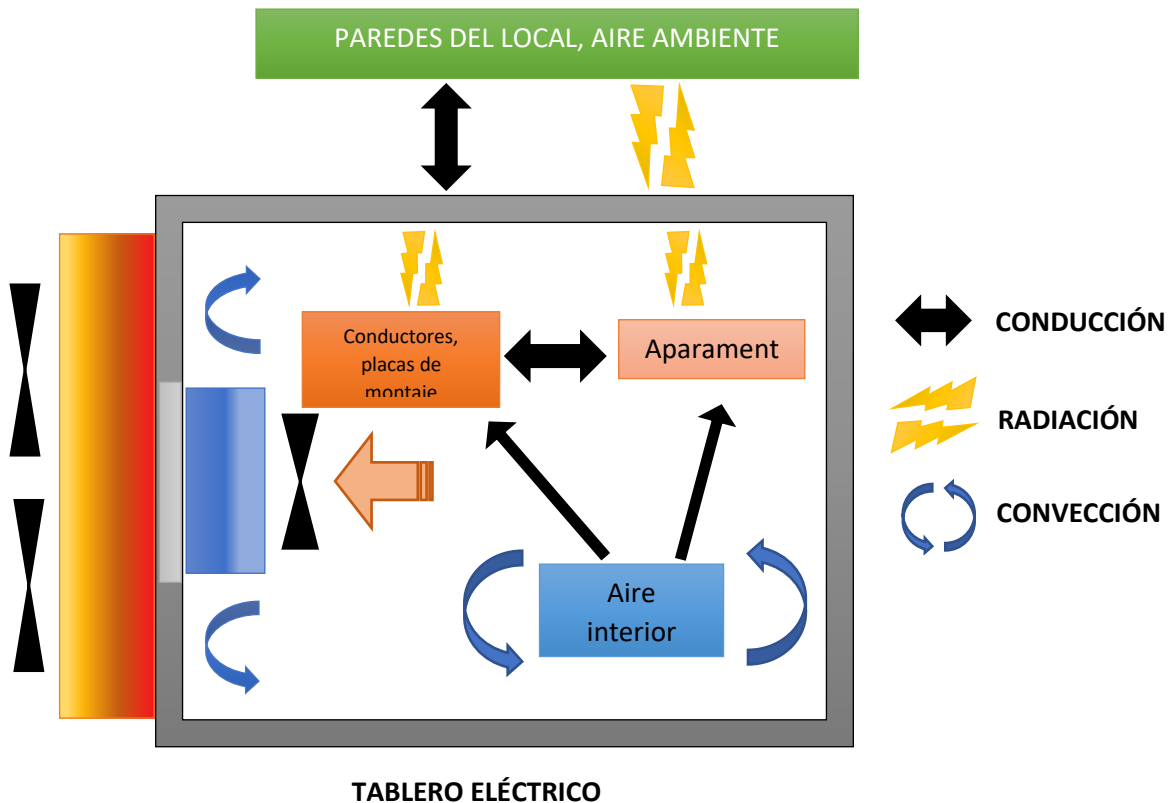


Figura 72. Comportamiento Térmico del Tablero con El módulo Peltier

3.6 SELECCIÓN DE PROTOTIPO.

El criterio de Selección se basa analizando las ventajas:

FUNCIONAMIENTO: No necesita otro elemento externo como el agua para su funcionamiento.

FACILIDAD DE ENSAMBLAJE: Tiene disipadores de Aluminio son necesarios y también fáciles de montar sobre las placas Peltier. Los ventiladores acoplados en cada una de sus caras son asequibles y no requieren una instalación compleja.

VELOCIDAD DE RESPUESTA EN EL CAMBIO DE TEMPERATURA: Los ventiladores ayudan a dirigir el calor disipado por los componentes internos al disipador de aluminio y el exterior disiparlo al ambiente.

ASEQUIBILIDAD: Los elementos requeridos son comerciales y se pueden adquirir en tiendas de material electrónico.

SEGURIDAD: Son elementos que funcionan con tensión a 12VDC. Y se instalan junto con dispositivos de seguridad contra descargas a tierra y cortocircuitos.

Se escoge la Alternativa 6.

CONFIGURACIÓN GENERAL DEL PROTOTIPO SELECCIONADO

Para estructurar el diseño del módulo climatizador con celdas Peltier se presenta el siguiente diagrama donde se muestra la secuencia de ubicación de cada parte del módulo propuesto.

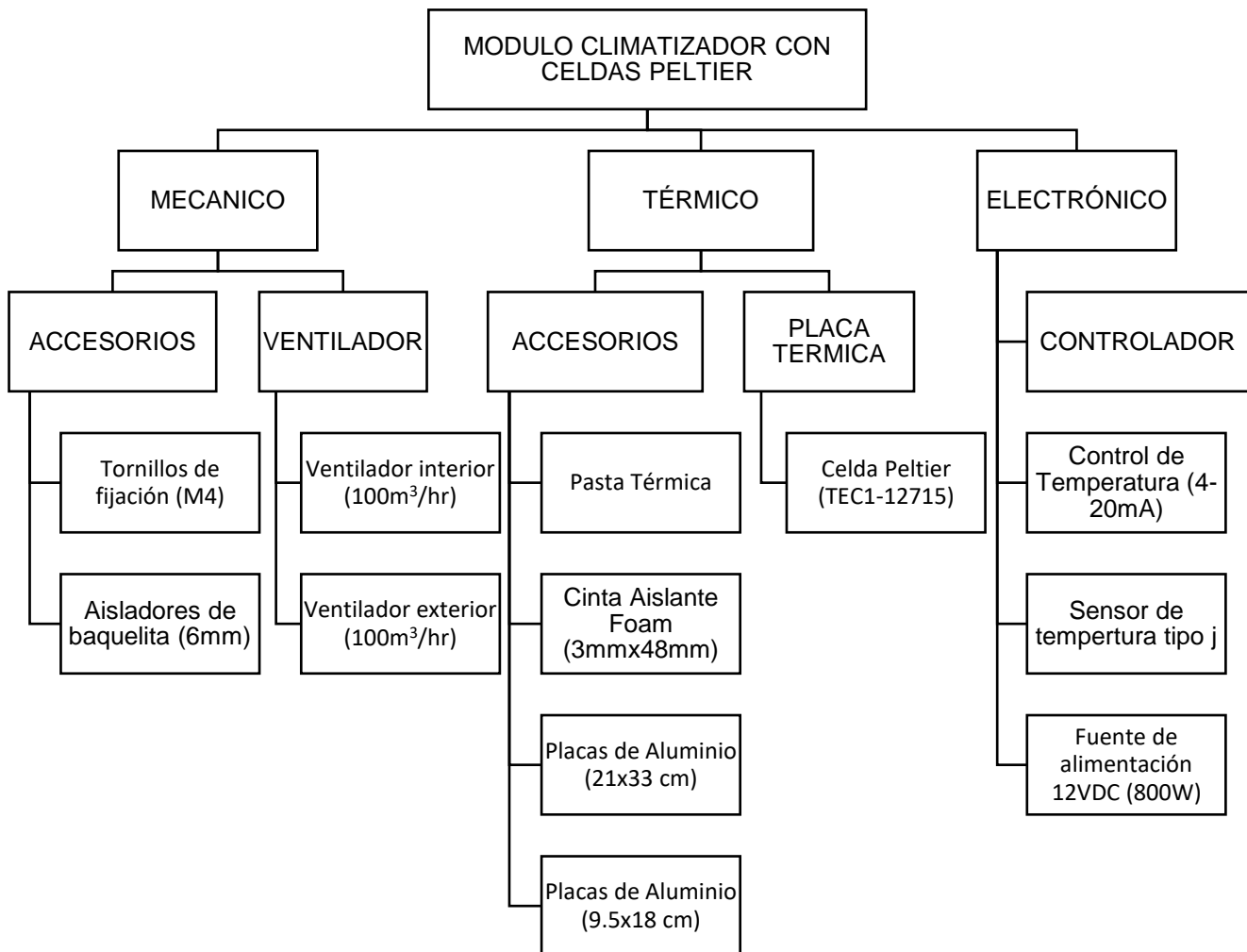


Figura 73. Diagrama de Agrupación de Elementos

3.7 DIAGRAMA DE CONTROL DEL MODULO CLIMATIZADOR

El diagrama de control propuesto representa el funcionamiento del módulo de climatización, consta de controladores de temperatura electrónicos CT4, que se encarga de encender de manera independiente el conjunto de celdas Peltier en función de la temperatura dentro del tablero eléctrico información recibida del SENSOR D. CT2 gobierna el funcionamiento del ventilador V1 que evita la sobre temperatura en el disipador de la cara caliente mediante el SENSOR B. CT3 controla la temperatura del disipador de la cara fría y ayuda a concentrar el calor emitido por los elementos internos del tablero mediante el SENSOR C. CT1 mide la temperatura Ambiente.

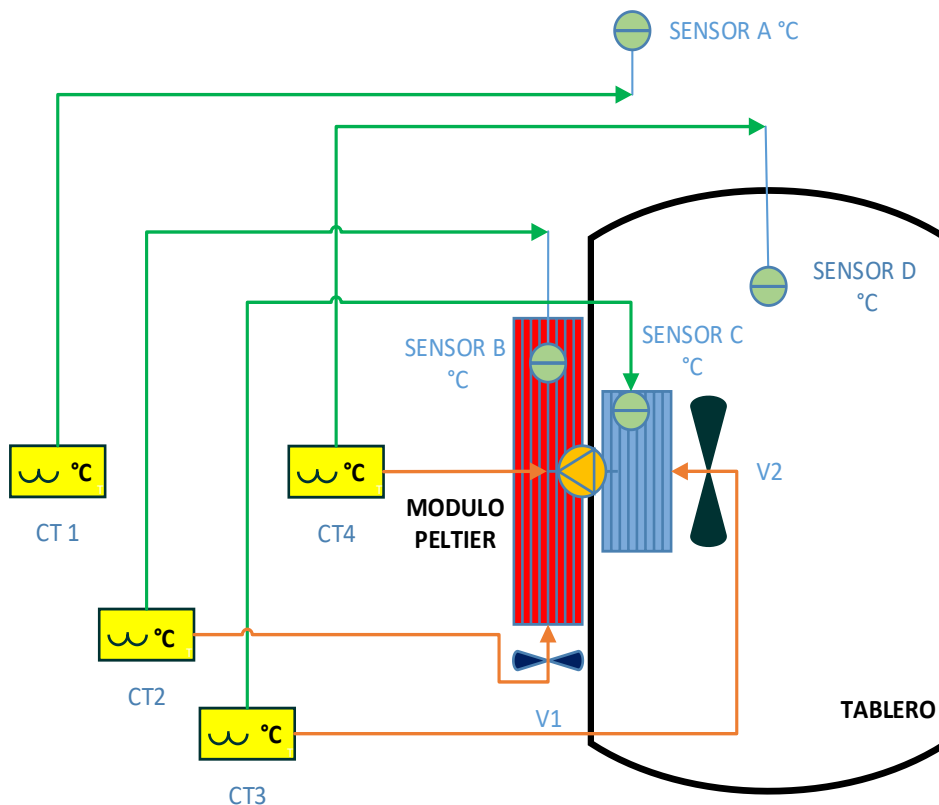


Figura 74. Diagrama de Control del Módulo

3.8 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

La construcción del Módulo Termoelectrico se desarrollará en 3 etapas; Ensamblaje del Tablero Eléctrico e Instalación de la Aparamenta para Climatizar, Construcción del Módulo Termoelectrico con Celdas Peltier e Instalación del Sistema de Control térmico.

1. Ensamblaje del Tablero Eléctrico e Instalación de la Aparamenta para Climatizar

Se selecciona un tablero metálico de 1.6mm de espesor y de dimensiones 70x50x25cm y pintura RAL 7035. Características estándar de los envolventes comerciales y que se encuentran instalados en las empresas.

Se instaló la aparamenta eléctrica con la finalidad de recrear un escenario fiable considerando los espacios para la ubicación de los instrumentos de medición y se pueda adquirir los datos que posteriormente servirán para analizar el comportamiento del módulo de climatización.



Figura 75. Tablero y Aparallaje utilizado en el ensamble del cuadro eléctrico.

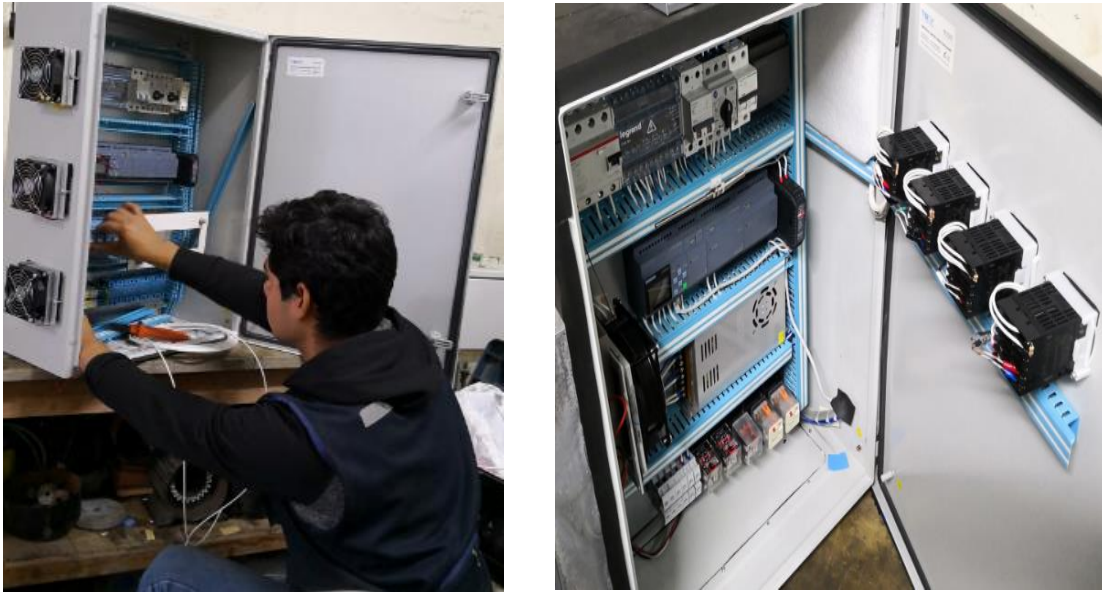


Figura 76. Tablero y Aparatura Instalada.

TABLA 6: Lista de Dispositivos Instalados

Descripción	Cantidad
Interruptor diferencial tetrapolar 63 A4P	1
Interruptor termomagnético sobre riel DIN 20A	1
Interruptor termomagnético sobre riel DIN 10A	1
Guardamotor <25A	1
Fuente de Alimentación 36W 24VDC	1
Fuente de alimentación 400W 12VDC	1
Micro PLC LOGO 12/24RC	1
Módulo de entradas analógicas	1
Módulo de expansión I/O	2
Relés 11pines a 220vac	5
Ventilador de Climatizador	1
Transductor A/mA	1
Repartidor Tetrapolar	1
Controles de Temperatura	4

Fuente: Elaboración Propia

CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO TERMOELÉCTRICO CON CELDAS PELTIER

Las celdas Peltier Seleccionadas son del modelo TEC1-12715.



Figura 77. Dimensiones de la celda Peltier 40x40mm y 3.3mm de espesor

Para este ensayo se utilizará el aluminio extruido que contiene un variador de Frecuencia de 30Kw por satisfacer las medidas requeridas de acuerdo con el cálculo de resistencia térmica y área de contacto, realizado para reducir la temperatura en el lado caliente del módulo menor a 50°C.

Medidas del Disipador de Aluminio para la Zona Caliente del Módulo.



Figura 78. Medida del disipador: Base, 33cm

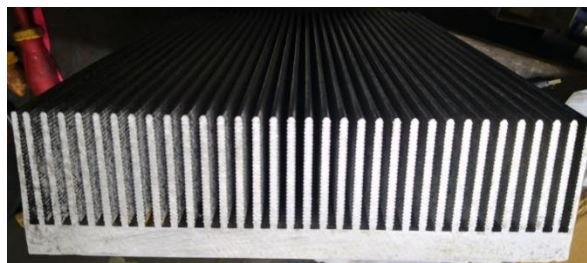


Figura 79. Medida del disipador: Ancho, 21cm y 34 aletas



Figura 80. Medida del disipador: Espesor de Núcleo Central, 13mm



Figura 81. Medida del disipador: Altura de Aletas, 46mm y Ancho de Aletas, 2.6mm



Figura 82. Preparación de Superficie

La superficie deberá ser lo más estable, limpia y Libre de rayaduras, de modo que la celda instalada logre un buen contacto térmico con el disipador.

Medidas del Disipador de Aluminio para la Zona Fría del Módulo.

El disipador utilizado ha sido extraído de un Variador de velocidad de 7.5kw debido a que cuenta con las medidas requeridas para cubrir el área de instalación de las 4 celdas Peltier que serán instaladas en el módulo.



Figura 83. Medida del disipador: Ancho, 9.5 cm y Base, 18cm



Figura 84. Medida del disipador: Espesor de Núcleo Central, 13 mm

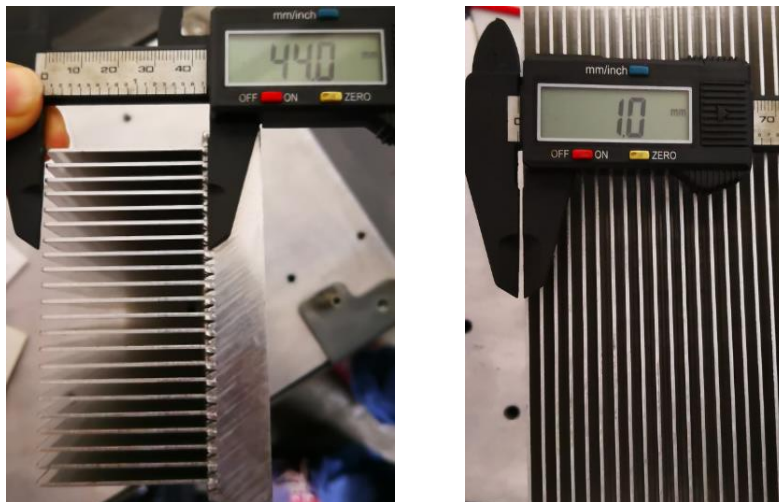


Figura 85. Medida del disipador: Altura de Aletas, 44mm y Ancho de Aletas, 1mm

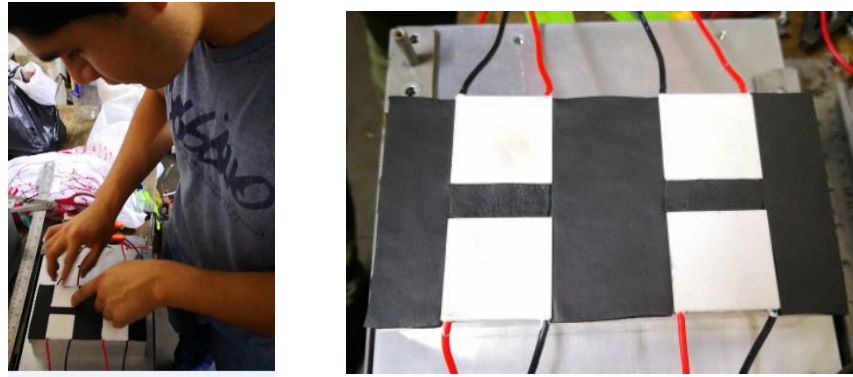


Figura 86. Instalación de Celdas Peltier sobre disipadores

Se recomienda el uso de una pasta térmica que asegura la adherencia y contacto entre los elementos, también, fijar las ubicaciones con una cinta de aislamiento térmico con el objetivo de evitar que las salgan de su lugar y que la transferencia de calor de la cara caliente con la fría sea mínima.

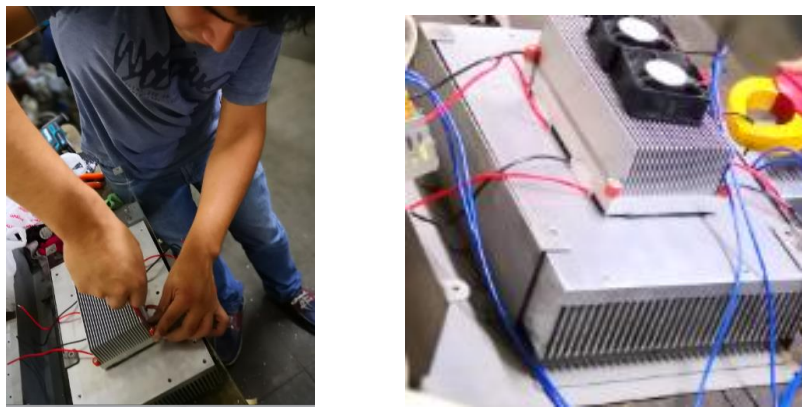


Figura 87. Ensamblaje de los 2 disipadores y las celdas Peltier.



Figura 88. Modulo termoelectrico preparado para realizar ensayos de funcionamiento

3.9 PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO:

Para obtener los parámetros de Funcionamiento a fin contrastar los datos experimentados con los teóricos se utilizó como instrumentos de Medición: una Cámara Termográfica en la Marca Flir con el que se realizó las capturas y videos de la evolución de la temperatura con respecto al tiempo y se visualizó los gradientes de temperatura en la superficie de los disipadores tanto en la cara caliente como en la cara fría, así mismo, los puntos de temperatura distribuidos en el tablero y en los dispositivos instalados.

Un Termo anemómetro con Datalogger, Modelo TMA40-A de la marca Amprobe, con capacidad de almacenar alrededor de 30 min de grabación sirvió para registrar los valores de temperatura, humedad relativa, velocidad del aire y volumen del Aire.

Las medidas de la energía consumida por el módulo se tomaron con un amperímetro de corriente continua y corriente alterna; voltímetro en corriente continua y corriente alterna.

La verificación de las temperaturas en diferentes partes del tablero se realizó mediante unos controles de temperatura con salida analógica que reciben la señal de temperatura desde unas termocuplas tipo J; ubicados al interior del tablero, en el disipador del lado frío, en el disipador del lado caliente y fuera del tablero para la medida de la temperatura ambiente. Las señales llegan al micro PLC Logo v8 al que se realizó una secuencia lógica para el funcionamiento del sistema.

Tabla 7: Parámetros de Medición

Parámetros de medición	Unidades
Voltaje	V
Corriente	I
Potencia	W
Temperatura	°C
Velocidad del aire	m/s
Humedad Relativa	%
Volumen del Aire	CMM, CFM, m ³ /hr

Fuente: Elaboración Propia

3.10 ADQUISICIÓN DE DATOS

Aplicación de la Cámara Termográfica

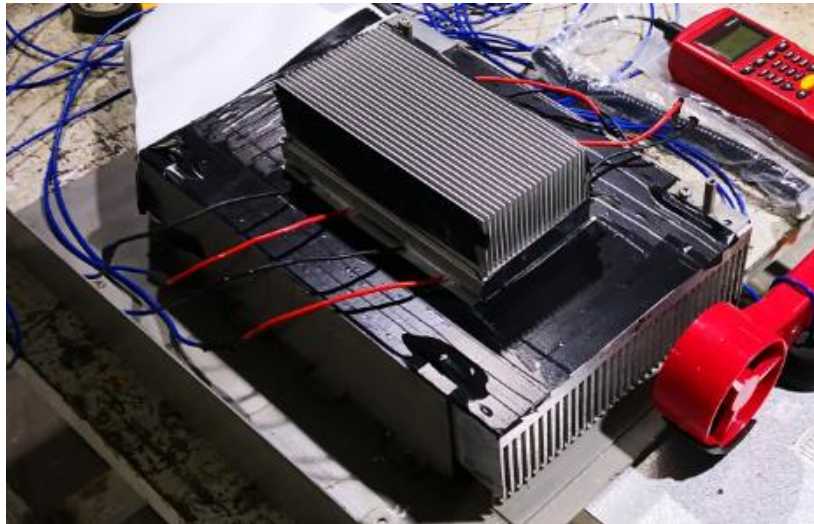


Figura 89. Módulo Termoeléctrico instalado con el termo anemómetro.

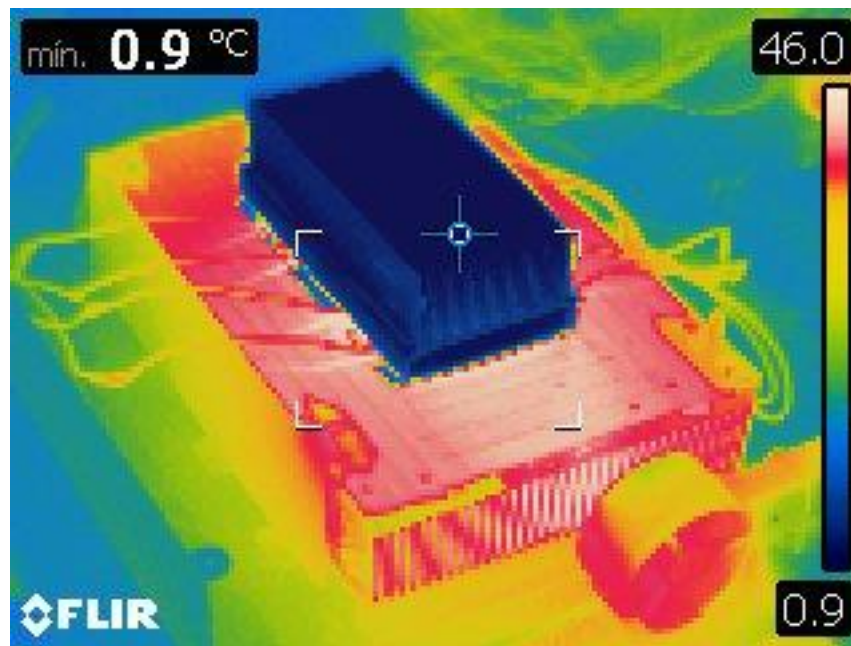


Figura 90. Termo grama del módulo.

Se realizó la adquisición de los parámetros de funcionamiento utilizando una cámara termográfica, un termo anemómetro y un multímetro.

Para una adecuada Medición de la Temperatura con la cámara termográfica en las caras del Aluminio; por ser un metal de superficie pulida y brillante su reflexión es muy alta por lo que la temperatura varia con el punto desde donde se enfoque. Se tuvo que cubrir con cinta aislante a fin de convertir su emisividad muy cercana a la de un cuerpo negro 0.9.

Esto se hizo porque durante los ensayos se había instalado las termocuplas en cada zona del módulo y comparándolo con las termo gramas de la cámara se encontró diferencias de hasta 15°C por lo que luego se realizó ese ajuste.

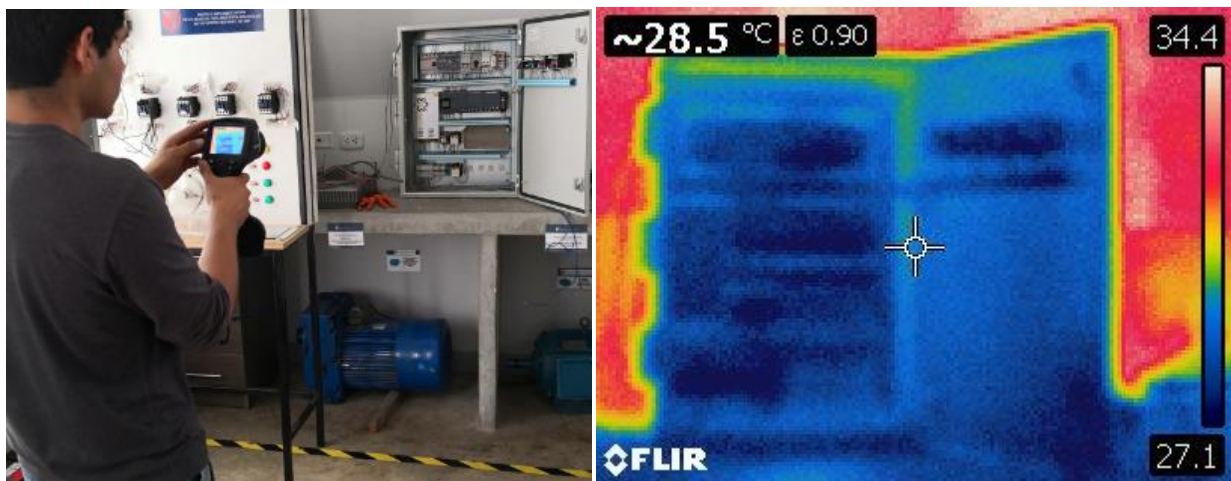


Figura 91. Termo grama del Tablero eléctrico.

En la imagen se observa que los elementos dentro del tablero se encuentran a una temperatura, sin embargo, hay un fondo que está a 30° y 34°C. Esto es debido a que se realizó la captura incluyendo las superficies brillantes de la pared distorsionando los rangos de temperatura.

Se recomienda realizar esta técnica de medición evitando superficies brillantes que no intervengan sobre el objeto a medir o ajustando la emisividad según el material enfocado.

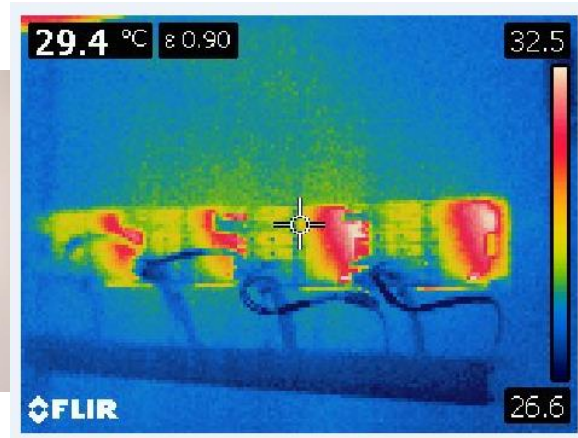
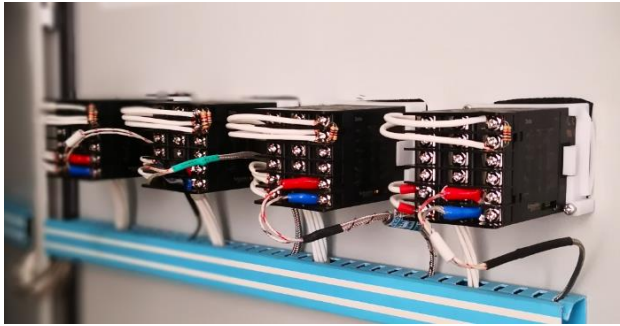


Figura 92. Termo grama de los controles de Temperatura ubicados en el panel del tablero.

Se observa que la máxima temperatura alcanzada por los controles de temperatura es de 32.5°C luego de 1 hora de funcionamiento a una temperatura ambiente de 26.6 °C.

Los puntos de donde se visualiza la mayor temperatura provienen de la ubicación de la placa electrónica del dispositivo.



Figura 93. Termo grama del micro PLC y el convertor A/mA

La máxima temperatura alcanzada por el micro PLC es de aproximadamente 30°C, mientras que del convertor de corriente es de 32°C. Las medidas realizadas fueron luego de 1 hora de funcionamiento a una temperatura ambiente de 27 °C. Los puntos donde se visualiza la mayor temperatura provienen de la ubicación de la placa electrónica de los dispositivos.

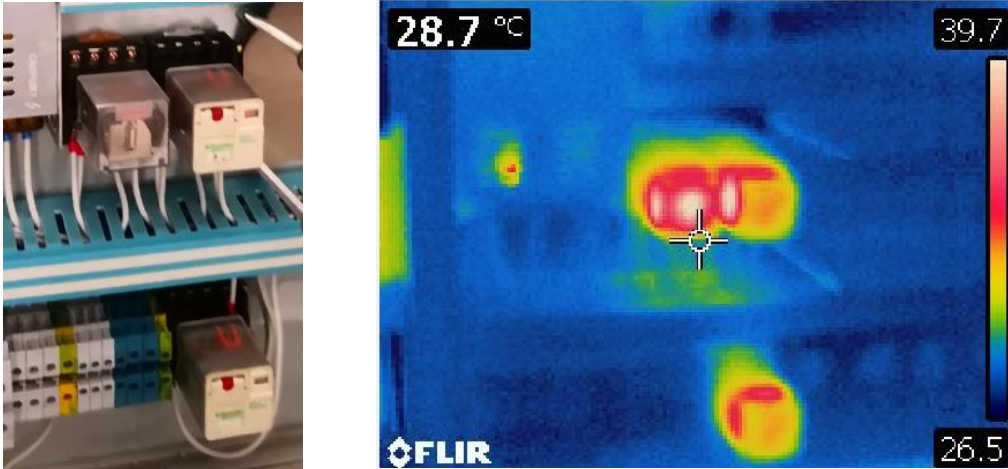


Figura 94. Termo grama de los relés enchufables de control

Este es uno de los elementos que más temperatura disipa durante su funcionamiento. Se observa que la máxima temperatura alcanzada por los controles de temperatura es de 39.7°C luego de 1 hora de funcionamiento a una temperatura ambiente de 26.5 °C.

Los puntos de donde se visualiza la mayor temperatura pertenecen al bobinado interno que le sirve de electroimán. El factor de potencia de estos Relay es de 0.6. alimentado por 220 VAC.

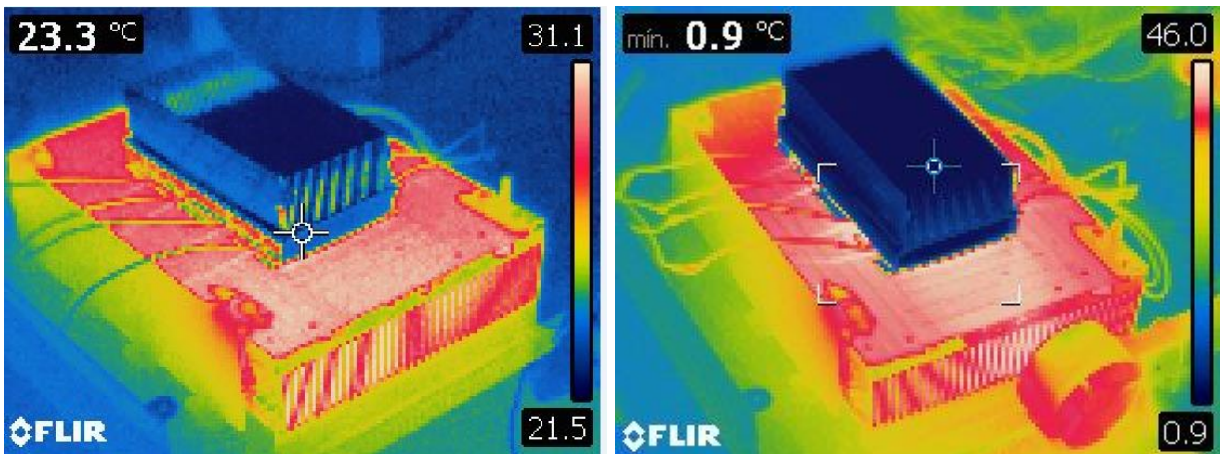


Figura 95. Termo grama del módulo termo eléctrico. A la izquierda las temperaturas iniciales y a la derecha la temperatura luego de 8 min de funcionamiento.

En el monitoreo del módulo utilizando la cámara termográfica se logró apreciar los focos de calor provenientes de las celdas Peltier. La temperatura del equipo a los 0 min fue igual a la temperatura ambiente de 21.5°C. A los 30 segundos los Peltier alcanzaron 35.2°C y el bloque frío 18.7°C. A los 60 segundos de Funcionamiento 37.2°C y 15.6°C. A los 2 minutos 39°C y 10°C. A los 3 minutos 40°C y 6.3°C A los 4 minutos 41.7°C y 4.2°C. 5 minutos después 42.5°C y 2.7°C. A los 6 Minutos 44.1°C y 1.6°C. A los 8 minutos se logró alcanzar 45.1°C y 0.4°C. Posteriormente el equipo luego de 20 minutos alcanzó 50°C y - 4°C.

Así mismo se observó que durante los primeros 2 minutos de monitoreo se había comenzado a condensar el agua en las placas del disipador frío indicando que se había alcanzado el punto de rocío del Ambiente.

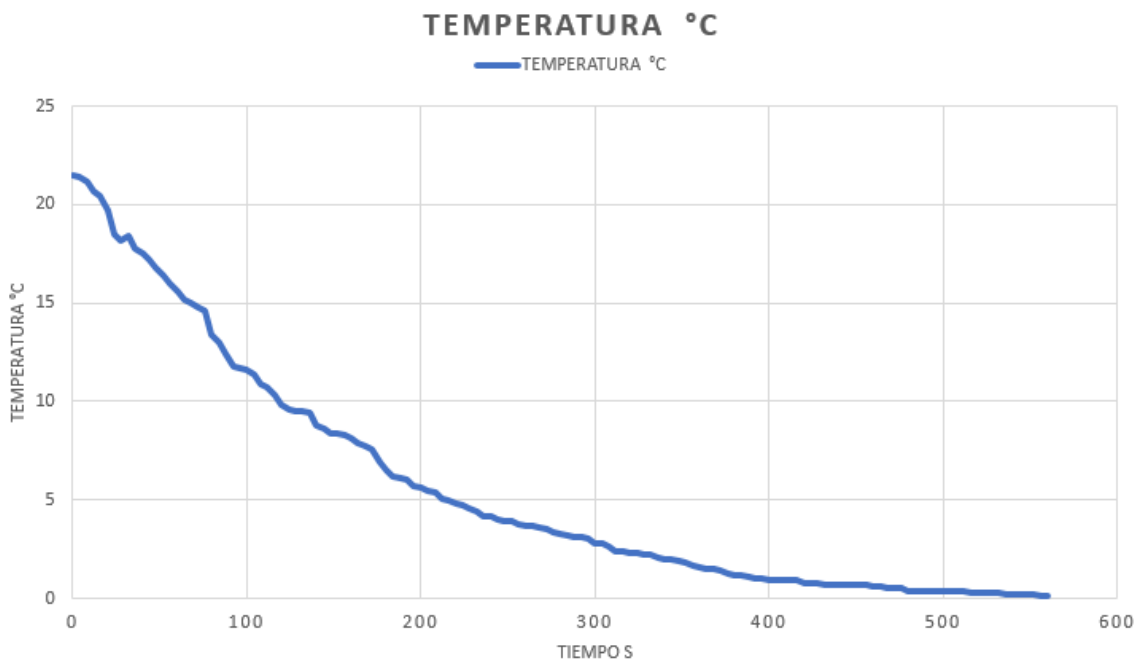


Figura 96. Gráfico de temperatura con respecto al tiempo de la placa Fría

GRAFICO DE CONVECCIÓN

24/11/2018 8:07:07 - 24/11/2000 8:13:45

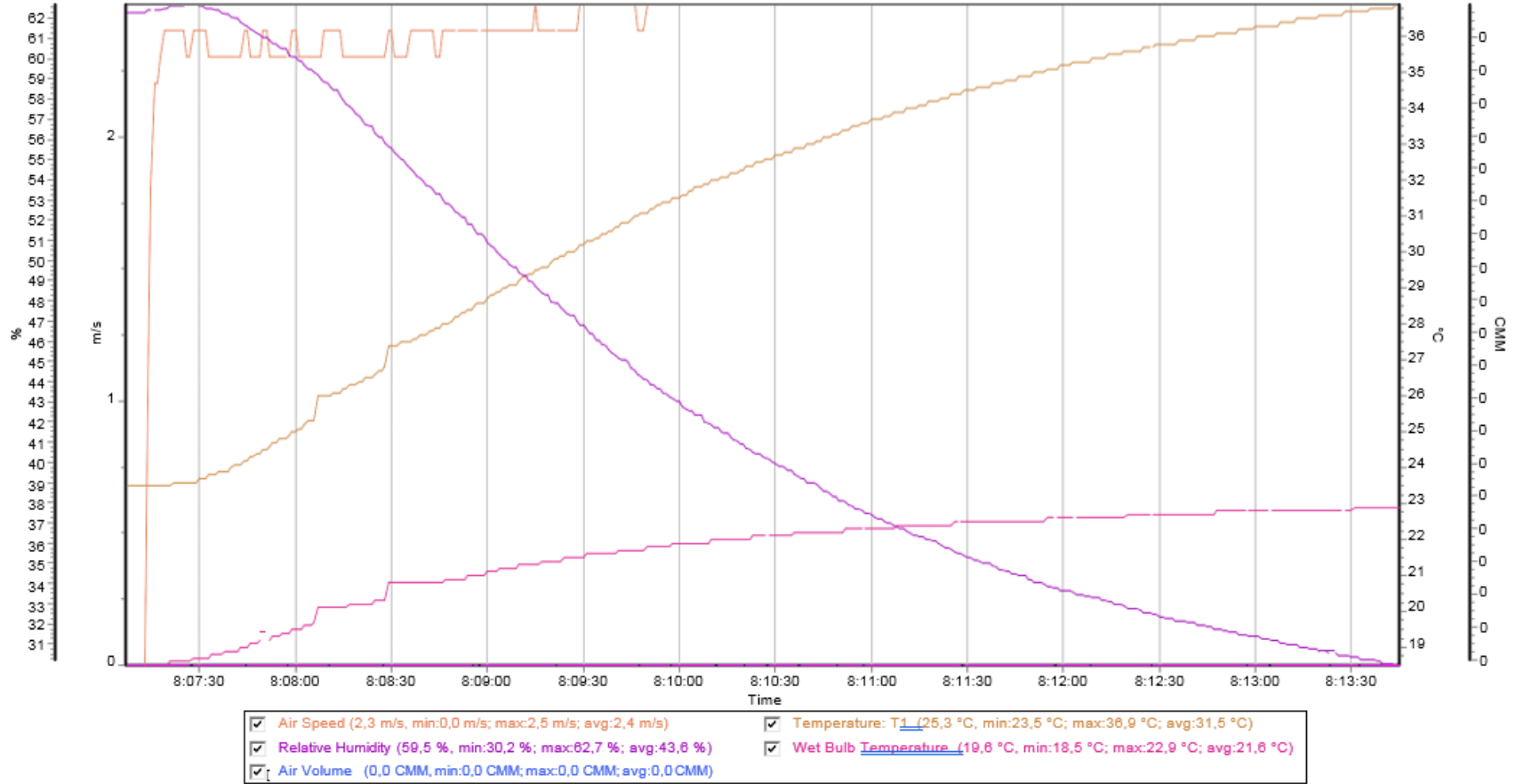


Figura 97. Gráfico obtenido del Termo anemómetro AMPROBE TMA40-A instalado en el dissipador de la cara caliente del módulo.

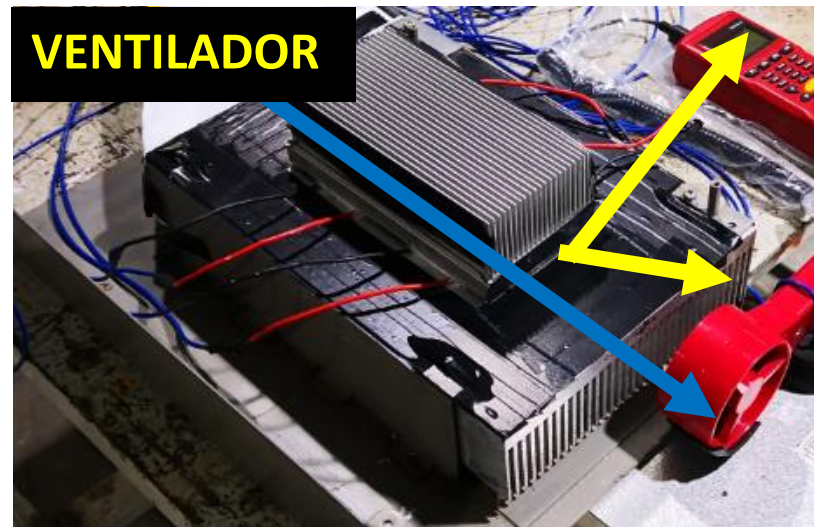


Figura 98. Termo anemómetro instalado a la salida de aire del disipador de cara caliente.

El ventilador instalado al otro extremo del disipador tiene un caudal de $100\text{m}^3/\text{hr}$. De esta manera se extrae el calor disipado en el sistema y se mantiene a un rango seguro de funcionamiento y operación al usuario. Durante los ensayos la temperatura en esta zona se estabilizó a 50°C . Los rangos de Temperatura del aire disipado por el aluminio fueron:

Velocidad del Aire (2,3 m/s, min:0,0 m/s; max:2,5 m/s; promedio:2,4 m/s)

Humedad Relativa: (59,5 %, min:30,2 %; max:62,7 %; promedio:43,6 %)

Temperatura: T1 (25,3 °C, min:23,5 °C; max:36,9 °C; promedio:31,5 °C)

Temperatura de bulbo húmedo (19,6 °C, min:18,5 °C; max:22,9 °C; promedio:21,6 °C)

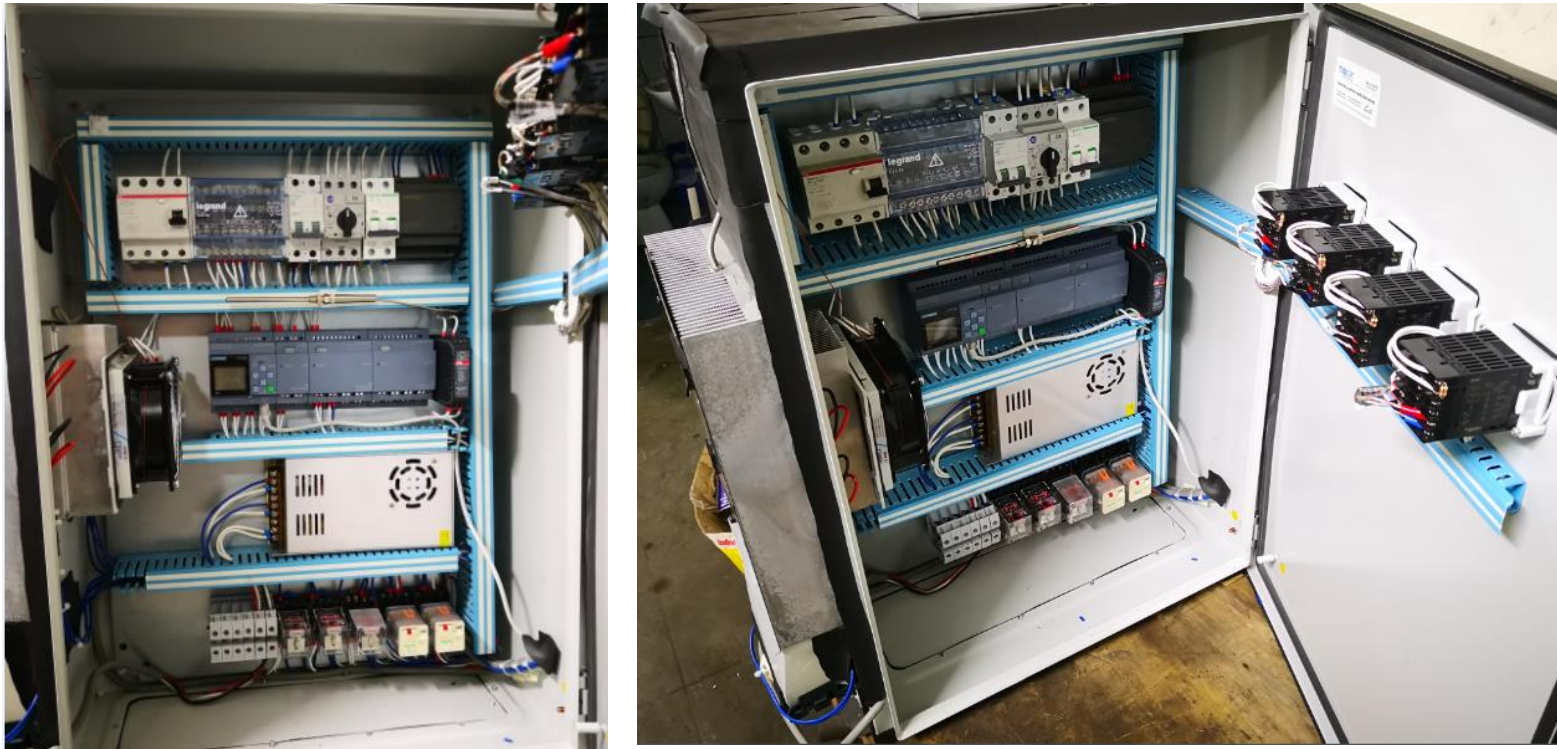


Figura 99. Módulo de Climatización Instalado en Tablero Eléctrico

Cálculo de la Cantidad de Agua Condensada en el Disipador Interior

$$wg = V \times p \times Dt$$

$$wg = 0.075255m^3 \times 1.204 \times (20 - 13)$$

$$wg = 0.6342gr$$

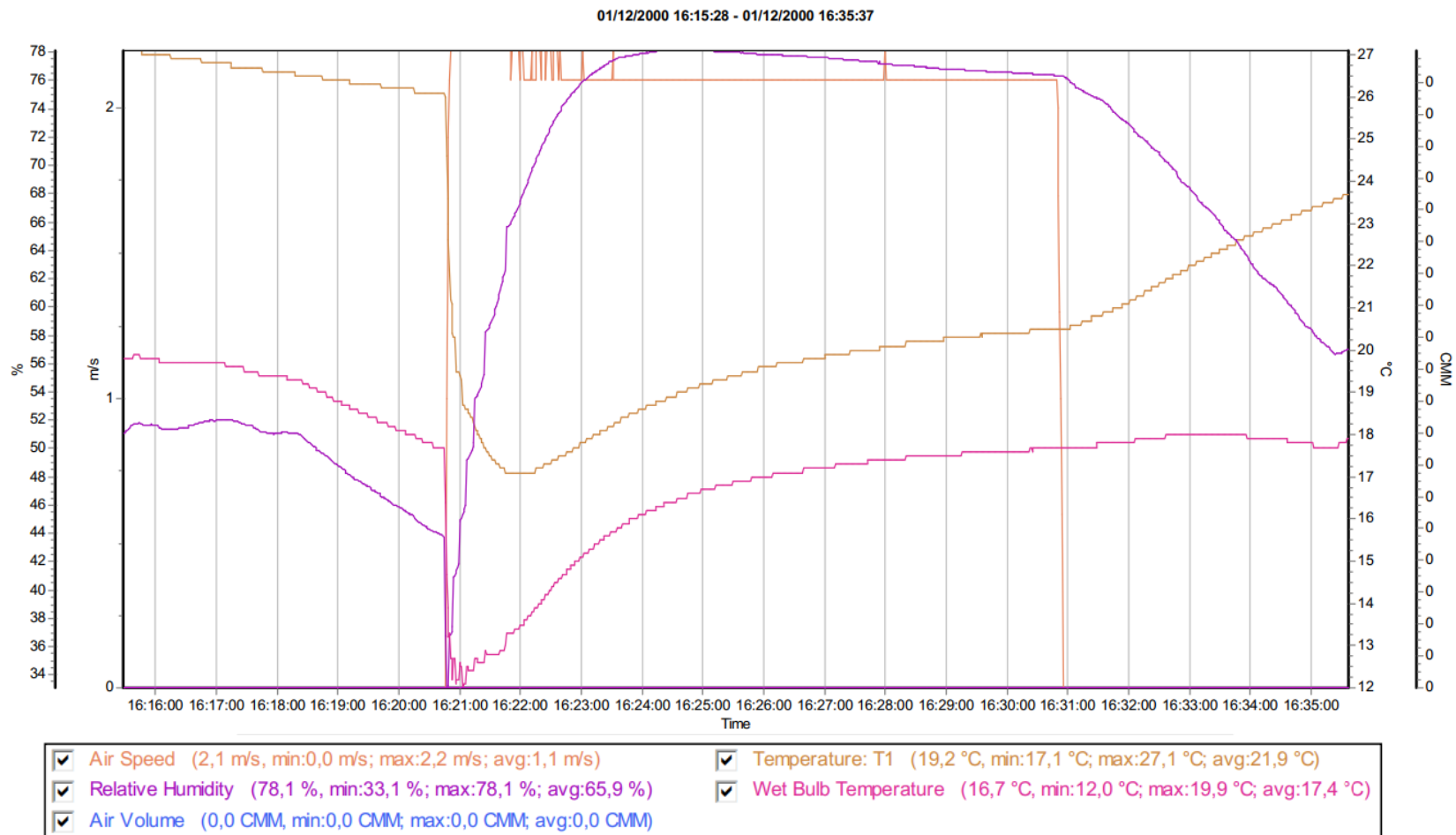


Figura 100. Gráfico obtenido del Termo anemómetro AMPROBE TMA40-A al interior del Tablero Eléctrico

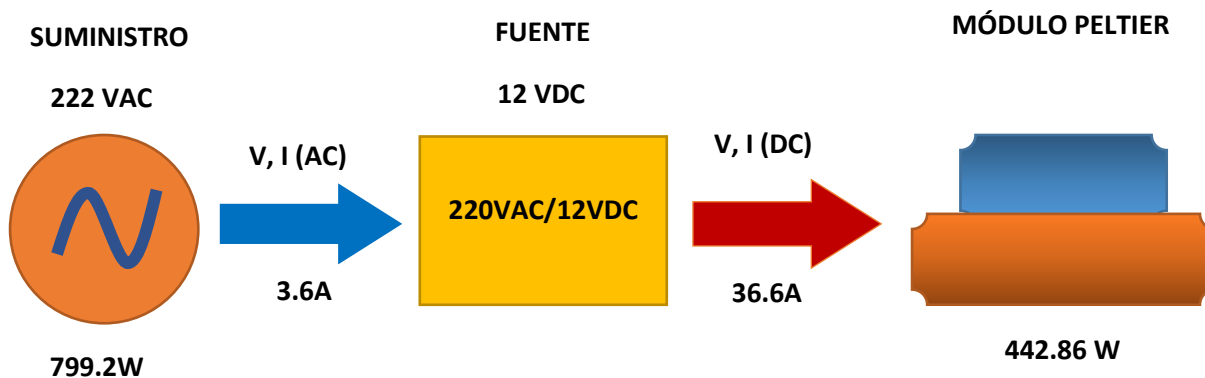


Figura 101. Diagrama de Bloques del consumo de energía del Sistema

Tabla 8: Parámetros de Medición obtenidos durante el primer ensayo

Parámetros Eléctricos	Suministro	Fuente
Voltaje (V)	222 VAC	12 VDC
Corriente (I) Celda 1+2+3+4	3.6A	8.8+9.3+9.1+9.4 =36.6 A
Potencia (w) - VxI	799.2 W	442.86 W
Rendimiento (n)	$442.86/799.2 = 0.5541 * 100\% = 55.41\%$	

Fuente: elaboración propia

3.11 ANALISIS ENERGÉTICO

El análisis energético, en el modelo propuesto, sirve para generar una base de datos con la que posteriormente se realice mejoras al modelo propuesto e iniciar un desarrollo óptimo de la tecnología.

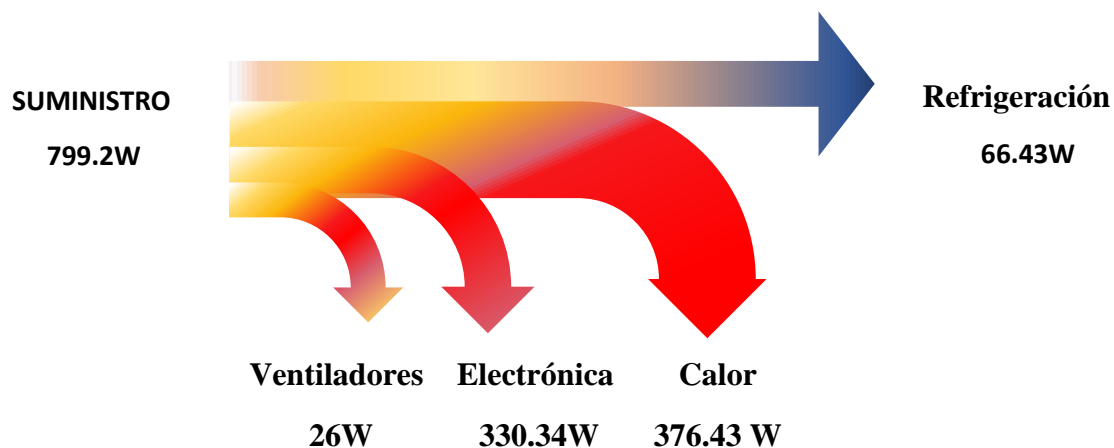


Figura 102. Diagrama de Sankey del Sistema Termoeléctrico

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA

Durante los ensayos del módulo de climatización se manipuló el parámetro de tensión de alimentación, esto es, porque en la ficha técnica de la celda Peltier hace referencia al COP como resultado dependiente del voltaje aplicado y la diferencia de temperatura entre sus caras.

Tabla 9: Parámetros de Medición obtenidos de los 3 ensayos realizados

PELTIER 1	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
	VDC	VAC	VDC	VAC	VDC	VAC
Corriente	8.2	0.75	8.6	0.825	7	0.575
Voltaje	12.2	230	13.2	230	10.2	230
Potencia 1 (W)	100.04	172.5	113.52	189.75	71.4	132.25
Rendimiento de fuente		0.57994203		0.59826087		0.53988658
PELTIER 2	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
	VDC	VAC	VDC	VAC	VDC	VAC
Corriente	8.8	0.79828069	9.5	0.90443314	7.5	0.61003151
Voltaje	12.1	230	13.1	230	10.1	230
Potencia 2 (W)	106.48	183.604558	124.45	208.019622	75.75	140.307248
PELTIER 3	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
	VDC	VAC	VDC	VAC	VDC	VAC
Corriente	8.3	0.75292383	9	0.8568314	7.5	0.64023109
Voltaje	12.1	230	13.1	230	10.6	230
Potencia 3 (W)	100.43	173.172481	117.9	197.071221	79.5	147.253151
PELTIER 4	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
	VDC	VAC	VDC	VAC	VDC	VAC
Corriente	9	0.81642343	9.8	0.93299419	7.7	0.62009804
Voltaje	12.1	230	13.1	230	10	230
Potencia 4 (W)	108.9	187.777389	128.38	214.588663	77	142.622549
POTENCIA DC (W)	415.85		484.25		303.65	
POTENCIA AC (W)		717.054428		809.429506		562.432948
RENDIMIENTO TOTAL VDC/VAC		0.579942029		0.59826087		0.539886578

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos en esta tabla se contrastaron con las temperaturas alcanzadas dentro del tablero.

Tabla 10: TEMPERATURA VS POTENCIA DE DISIPACIÓN.

	VOLTAJE	POTENCIA	TEMPERATURAS (°C)			
	VDC	W	Tcal	Tint	Tfr	Tamb
	13.1	484.25	53	26	18	21
DIFERENCIA	1	68.4	5	2	1	0
	12.1	415.85	48	24	17	21
DIFERENCIA	2	112.2	5	3	4	0
VALOR OPTIMO	10.1	303.65	43	21	13	21

Fuente: Elaboración propia.

Tcal: Temperatura en la cara caliente del módulo.

Tint: Temperatura interior del tablero.

Tfr: Temperatura de la cara Fría del Módulo

Tamb: Temperatura ambiente.

El ensayo reduciendo la tensión de alimentación a las celdas Peltier con 10.1 VDC, presentó mejor respuesta al enfriamiento del sistema a comparación del aumento de la tensión a 13.1VDC. donde la temperatura al interior del tablero aumento a 26°C.

Quiere decir que la potencia de refrigeración del sistema tiene mayor eficiencia (COP) cuando la tensión de alimentación es menor y la diferencia de temperaturas entre sus caras también se reduce. La explicación la encontramos al investigar la curva de funcionamiento de la celda Peltier (COP VS Tensión, V)

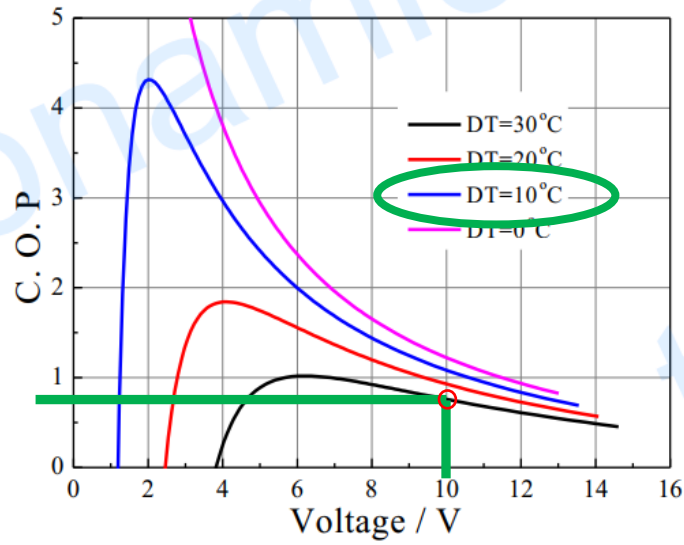
De los datos obtenidos podemos estimar el valor del COP:

De la relación entre las diferencias de temperatura logradas al interior del tablero y las disipadas al exterior.

Temperatura al aumentar la tensión a 13VDC: 28-26/52

TEC1-12715

Performance Curves at $T_h=50\text{ }^\circ\text{C}$



COP = f(V) of DT ranged from 0 to 30 °C

Figura 103. Curvas de Rendimiento COP/V

DT= Temperatura cara caliente – Temperatura cara Fría = 43°C-13°C = 30°C

De la Grafica de rendimiento COP = 0.6

Graph $V = f(DT)$

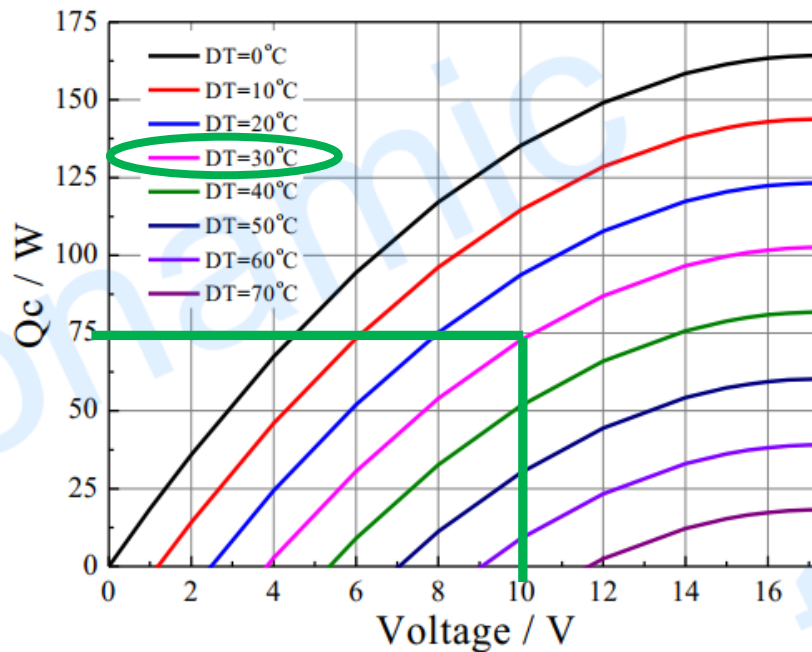


Figura 104. Curvas potencia de disipación en función de DT y V

La potencia de Disipación de la celda Peltier se encuentra con esta curva Q_c/V .

A 10VDC la potencia de disipación de cada Celdas es 75W.

Comparando los datos obtenidos de los ensayos, (TABLA 8). Se tiene que la potencia de disipación en VDC fue de 303.65W.

Teóricamente $75W \times 4$ Celdas Instaladas = 300W

Experimental: 303.65 w

Error%= 1.21%

Con lo cual podemos determinar la potencia Frigorífica en Función de las curvas de rendimiento aportados por el fabricante.

COP = 0.6

$$COP = \frac{Q_{fr}}{Q_c} \quad \dots(45)$$

Q_{fr} : Potencia frigorífica Total.

Q_c : Potencia de disipación Total.

$$Q_{fr} = 0.6 \times 303.65$$

$$Q_{fr} = 182.19 \text{ W}$$

3.12 EVALUACIÓN ECONOMICA

Se realiza el análisis económico a una procesadora de Carbón, ubicada en la ciudad de Trujillo. Los datos obtenidos se desarrollan en un periodo de 3 años y a 12 horas de trabajo al día. Sus tableros eléctricos tienen apartamento de medida, control, distribución y regulación.

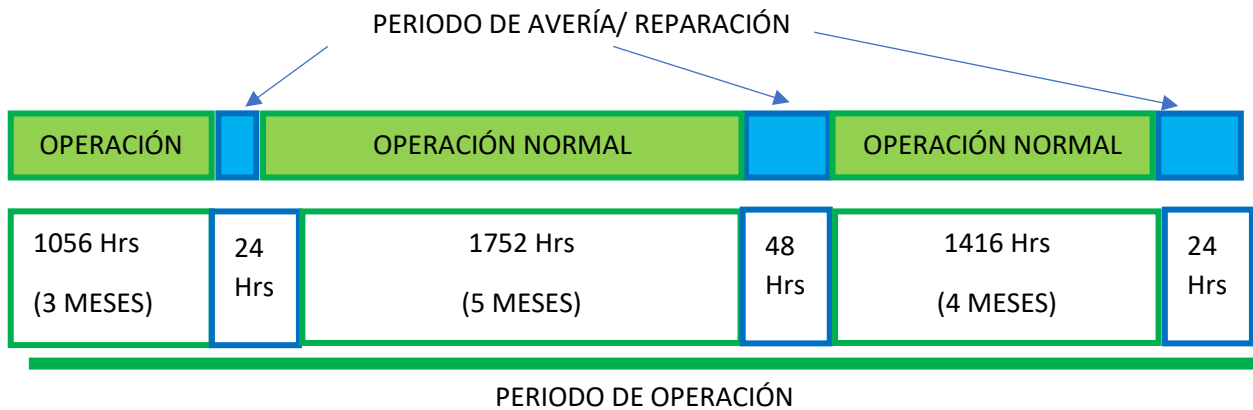


Figura 105. Desarrollo de eventos durante el primer año de producción.

Las acciones realizadas al primer año de trabajo fue el mantenimiento del PLC, los reemplazos de un contactor, y del controlador de fase que pertenecía al sistema de seguridad. Enviaba una señal del estado incorrecto de las líneas de alimentación General provenientes de un Grupo Electrónico de 500KW.

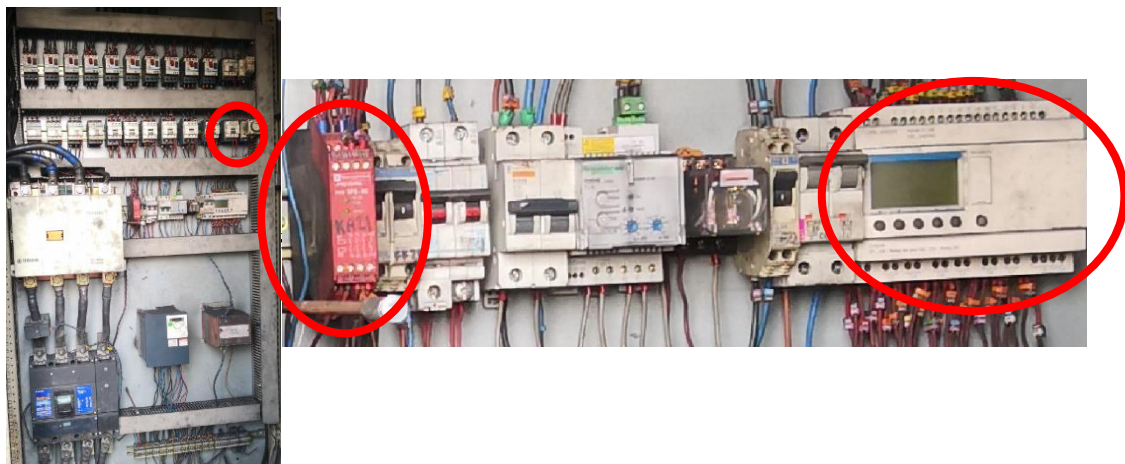


Figura 106. Equipos intervenidos en el primer año de producción.

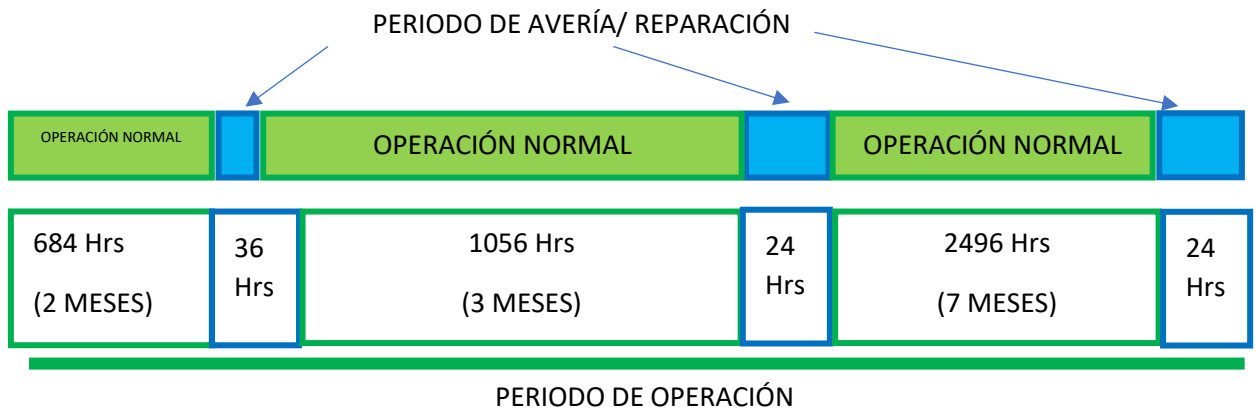


Figura 107. Desarrollo de eventos durante el segundo año de producción.

Las reparaciones realizadas al tercer año, fue el reemplazo de un variador de frecuencia de 5HP, posteriormente el Relé de Protección Diferencial Y mantenimiento General del Tablero.

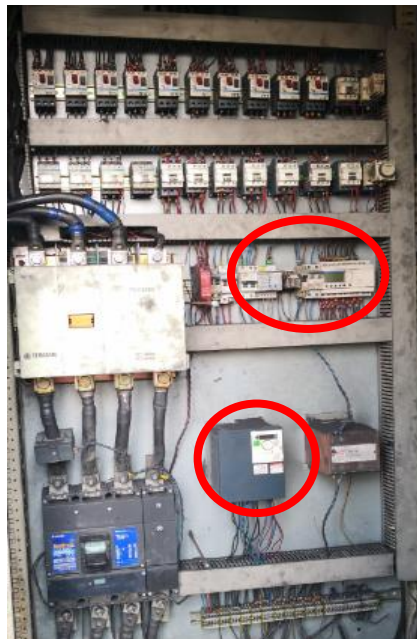


Figura 108. Elementos que fueron intervenidos durante el segundo año de producción

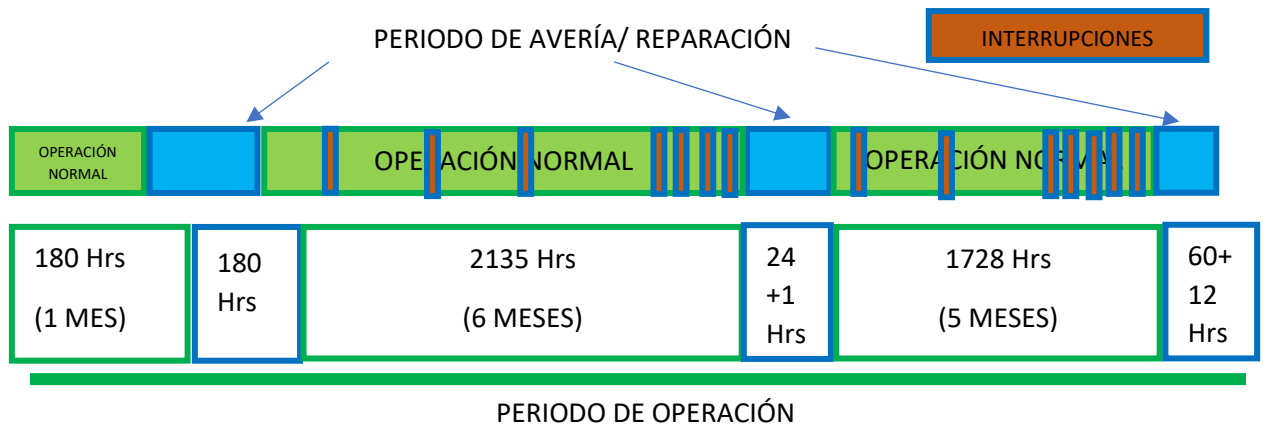


Figura 109. Desarrollo de eventos durante el tercer año de producción.

Las reparaciones realizadas al tercer año, fue el reemplazo de un variador de frecuencia de 400HP, Reemplazo del PLC Y del contactor de 630A.



Figura 110. Elementos que fueron intervenidos durante el tercer año de producción

El tiempo de vida de cada componente fue afectado por falta de gestión térmica hacia sus elementos. Y los que salieron afectados rápidamente fueron los equipos electrónicos.

Tabla 11 : Pérdidas de Producción Registradas en 3 años de Operación debido a fallas eléctricas.

HORAS DETENIDAS				TOTAL	Producción	Costo	Pérdida Total
					130 Ton/hora	180 soles/ Ton	
				Horas			
AÑO 1	24	48	24	96	12480	2246400	2 246 400
AÑO 2	36	24	24	84	10920	1965600	1 965 600
AÑO 3	180	25	72	277	36010	6481800	6 481 800
TOTAL, EN 3 AÑOS				457	59410	10693800	10 693 800

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Pérdidas en Equipos Registradas en 3 años de Operación

Equipo	Soles
Variador de frecuencia 5HP	3500
Variador de Frecuencia 400HP	92000
Relé diferencial	2500
Controlador Programable PLC	1900
Control de Fase	800
Contactador 32A	250
Contactador de 630A	9700
Total	110 650

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13: Costos de Implementación de Climatizador con Celdas Peltier

Potencia de Disipación de Equipos Electrónicos			
	Watts		Watts
Controlador programable	4	Variador de Frecuencia 400 HP	2537
Control de Fase	3		
Relé diferencial	4		
variador de Frecuencia 5HP	180		
POTENCIA DISIPADA TOTAL	191		2537
Factor de L25-L50	289.8		4566.6
Energía Disipada por los Peltier %0.25	1159.2		18266.4
Potencia Consumida Watts	2318.4		36532.8
COSTO SOLES/WATTS DE CALOR A DISIPAR	28.54 SOLES		
Costo de Climatizador		5451.14	72405.98
Costo de funcionamiento por hora	0.55 soles/kw-hr	1.27512	20.09304
costo de funcionamiento por mes a 12 hrs de funcionamiento		459.0432	7233.4944
Costos de funcionamiento en 3 años		16525.555	260 405.79

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza un análisis del sistema propuesto utilizando las celdas Peltier vs un equipo comercial a base de compresor y gas refrigerante. Los precios del climatizador comercial son referenciales a un equipo que se adquiere bajo pedido y a entrega luego de 15 días.

TABLA 14: COSTOS OPERATIVOS DE UN EQUIPO COMERCIAL VS EL MODULO PELTIER

COSTOS DE SISTEMA CLIMATIZADOR				
MATERIALES	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL REQUERIDO TEC1-12715	PRECIO DE CLIMATIZADOR
	SOLES (S/.)	UNIDAD	IMPORTE (S/.)	COMERCIAL (380W)
CELDA PELTIER TEC 1-12715	30	4	120	
ALUMINIO CARA CALIENTE	250	1	250	
ALUMINIO CARA FRIA	200	1	200	
PASTA TERMICA	15	1	15	
AISLANTE PELTIER TEC1-12715	5	4	20	
TORNILLOS	0.2	12	2.4	
VENTILADOR A	100	1	100	
VENTILADOR B	60	1	60	
ACCESORIOS DE INSTALACIÓN	50	1	50	
TERMOSTATO	55	1	55	
CONTACTOR	150	2	300	
COSTO DE FUENTE	50	4	200	
TOTAL, COSTO MATERIALES			1372.4	
COSTO FIJO			274.48	
SUB TOTAL			1646.88	
UTILIDAD OPERATIVA			576.408	
PRECIO DE VENTA			2623.47984	5350

Fuente: Elaboración propia.

El precio de venta de un climatizador Peltier es 2623.48 Soles, mientras que uno comercial es de 5350 soles. Cabe mencionar que las potencias de refrigeración son distintas. Se toma el climatizador comercial porque es la potencia mínima que la empresa distribuidora dispone. Con estos datos se hará el estudio económico para solucionar la necesidad actual.

TABLA 15: COSTOS OPERATIVOS DE UN EQUIPO COMERCIAL VS EL MODULO PELTIER

TIEMPO		EQUIPO PELTIER (190W)	EQUIPO COMERCIAL 380W	COSTO OPERATIVO		TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO		COSTO
AÑOS	Días			PELTIER	COMPRESOR	PELTIER	COMERCIAL	
		Tamb°C= 25°C				(HRS)	Hrs	(S./.(kw-hr))
1	360	3230.43	5549.8	606.96	199.8	6	3	0.5
2	720	3837.39	5749.6	1213.92	399.6	6	3	0.5
3	1080	4444.35	5949.4	1820.88	599.4	6	3	0.5
4	1440	5051.31	6149.2	2427.84	799.2	6	3	0.5
5	1800	5658.27	6349	3034.8	999	6	3	0.5
6	2160	6265.23	6548.8	3641.76	1198.8	6	3	0.5
7	2520	6872.19	6748.6	4248.72	1398.6	6	3	0.5
8	2880	7479.15	6948.4	4855.68	1598.4	6	3	0.5
9	3240	8086.11	7148.2	5462.64	1798.2	6	3	0.5
10	3600	8693.07	7348	6069.6	1998	6	3	0.5

Fuente: Elaboración propia.

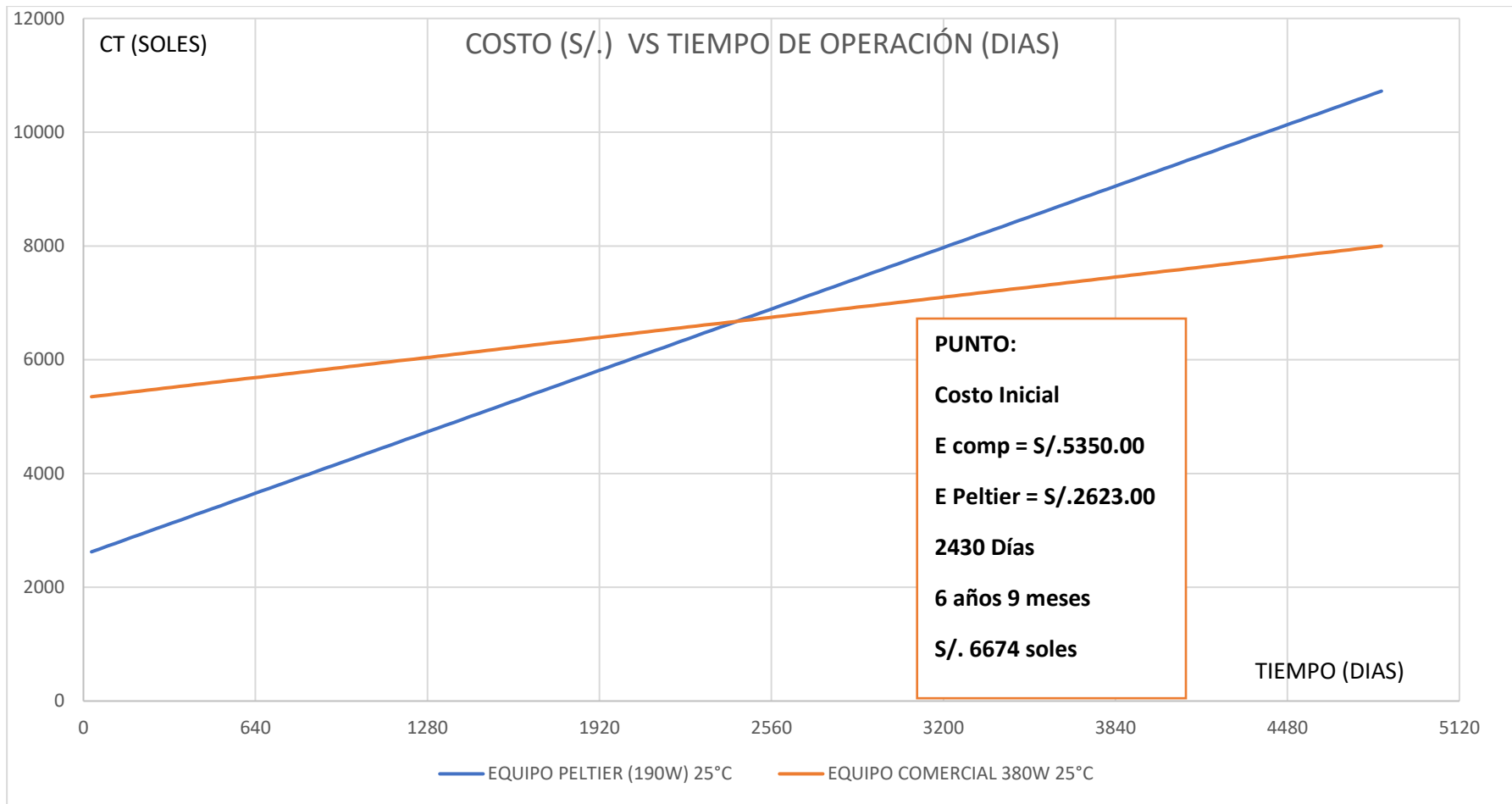


Figura 111. Diagrama de Costes Totales Frente al tiempo de funcionamiento (Refrigeración)

Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica, la recta vertical representa los costos de la instalación para cada sistema y la recta horizontal el tiempo de funcionamiento.

Los costos iniciales del sistema termoeléctrico son menores pero la pendiente es mayor que la del sistema por compresión, por lo que se tiene que ambas rectas se corten en algún punto. El punto determina el tiempo de funcionamiento, a partir del cual el sistema con celdas Peltier ya no sería una ventaja competitiva frente al uso del sistema de refrigeración por compresión.

$$C_{ifc} + \frac{Q_f}{COP_{fc}} * T_{fmax} * C_e = C_{ite} + \frac{Q_f}{COP_{te}} * T_{fmax} * C_e \dots()$$

Q_f : Potencia Frigorífica

C_{ifc} : Costo inicial del sistema por compresión

C_{ite} : Costo Inicial del sistema termoeléctrico

C_e : Costo de Energía eléctrica en S// Kw-Hr

T_{fmax} : Tiempo de Funcionamiento Maximo

COP_{fc} : Rendimiento frigorífico por compresión

COP_{te} : Rendimiento frigorífico termoeléctrico

RETORNO OPERACIONAL DE LA INVERSION (ROI):

Inversión de activos fijos

Beneficio

El precio del equipo de Climatización con Celdas Peltier Propuesto requiere una inversión de 5450 soles con potencia de refrigeración a 190W. Evaluada en 3 años de operación. Excluyendo la climatización para el variador de 400HP. Las pérdidas generadas por el fallo de los componentes electrónicos son de S/6 481 800 soles

$$ROI = \frac{\text{Beneficio} - \text{Inversion}}{\text{Inversion}} \quad \dots(38)$$

$$ROI = \frac{6481800 - (5450(\text{costo eq.}) + 16525.55(\text{costos op.}))}{21975.55}$$

$$ROI = 293.95 \times 100\%$$

Interpretación: Por cada sol invertido en la Implementación del Climatizador se obtendrá 293.95 soles de Beneficio en 3 años debido al aumento de la vida útil de los equipos eléctricos.

IV. DISCUSIÓN

Las necesidades observadas en las empresas que transforman sus materias primas con procesos de alta polución y en ambientes donde sus tableros eléctricos presentan fallas debido a la contaminación y a elevadas temperaturas, porque tampoco cuentan con una adecuada gestión térmica de sus instalaciones, motivan la búsqueda de alternativas de solución a estos problemas.

Los productos comerciales suponen una inversión segura y rápida que pueden satisfacer las necesidades del problema, sin embargo, los costos son altos y con atenciones especiales en sus servicios de instalación y mantenimiento que le adicionan al presupuesto otro costo.

La formación tecnológica e innovadora pone en iniciativa cubrir este requerimiento con la aplicación de nuevas tecnologías que dan por solucionados problemas que por paradigmas creemos que son lo único con lo que se pueden resolver.

Sandoval, et al. (2008), en su investigación sobre “CELDAS PELTIER: UNA ALTERNATIVA PARA SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO CON BASE EN SEMICONDUCTOR”. Explica el funcionamiento de las celdas Peltier, el cual se caracteriza por la aparición de una diferencia de temperaturas entre las dos caras de un semiconductor cuando por él circula una corriente. Su constitución es la unión de 2 materiales, el Bismuto para la cara del semiconductor tipo P y Telurio para la cara tipo N semiconductores y al aprovechamiento de un efecto termoeléctrico como es el Peltier.

Tomados estos datos en la investigación, se utilizó la placa Peltier TEC1-12715 que de acuerdo con el fabricante ésta tiene una alimentación en corriente continua y por lo tanto se consideró una fuente de alimentación siendo un elemento más que se incluyó dentro del paquete para el acondicionamiento de este sistema de climatización.

Además, se tuvo en cuenta que los materiales con los cuales se fabrican son el Bismuto y el Telurio cuya temperatura de fusión es a 271°C Y 450°C respectivamente. El dejarlos que lleguen a esas temperaturas los estropea, como pasó cuando se estuvo explorando su funcionamiento. Sin disipadores de calor las temperaturas máximas absolutas soportadas por la celda se lograron rápidamente debido que son elementos semiconductores compactos y tienen una alta densidad de potencia.

Cabrera et al., (2009). En su investigación sobre el “CONTROL DE TEMPERATURA BASADO EN EL EFECTO PELTIER PARA ESTUDIOS DE MECANISMOS DE FORMACIÓN MOLECULAR MEDIANTE ESPECTROSCOPIA INFRARROJA”. Expone los comportamientos que obtuvo en sus ensayos: donde 39 minutos después de iniciado el proceso, se alcanza la mayor diferencia de temperatura entre ambas caras con un $\Delta T = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para voltajes mayores, como 5 y 6 voltios, el súbito decremento de temperatura en la cara fría de la celda provoca condensación de agua en su superficie. Además, también se observa que la variación de temperatura producida por un voltaje de polarización en la celda y el siguiente nivel de polarización oscila entre 5 y 10 grados centígrados.

Del mismo modo en los ensayos realizados en esta investigación se comprobó el comportamiento del módulo Peltier fabricado. Donde se pudo Verificar un descenso rápido de la temperatura.

En la figura 90, de la sección Adquisición de datos, se había utilizado una cámara termográfica para monitorear los gradientes de temperatura desarrollados en el módulo Peltier y se registró que en 8min y 30 segundos alcanzó 0.9°C en la cara Fría y en la cara Caliente 46°C . además en las placas del disipador se había condensado agua del medio ambiente.

Se tomó en cuenta para determinar el tipo de montaje que tuvo el módulo climatizador acoplado en el tablero de prueba con los dispositivos. Siendo el agua peligrosa para el aislamiento de las partes más vulnerables dentro de ella como son las placas electrónicas y aquellas que presenten niveles de tensión y frecuencia elevadas.

Finalizando la selección de la alternativa, en el montaje tipo vertical y lateral con elementos higroscópicos en la parte inferior de las aletas del aluminio para cuando se condensé el agua sea atrapado y así controlamos la humedad relativa al interior del tablero acondicionado.

Este ensayo también conocimos la manera de mantener la temperatura máxima de la cara caliente en el Peltier utilizando un ventilador con un Flujo de $100\text{m}^3/\text{hr}$ y así desarrollar las pruebas posteriores con mayor tiempo de muestreo sin que los Peltier fueran a resultar Dañados. El ensayo que mayor tiempo tuvo fue de 8 horas de funcionamiento continuo. Su temperatura en el lado caliente fue 50°C y en la cara Fría de 16°C .

Flores, (2017). En su investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA PELTIER EN FUENTES TÉRMICAS DE CALOR RESIDUALES, PARA EL APROVECHAMIENTO DE GENERACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y CLIMATIZACIÓN POR FRIO EN EL HOGAR. Comentan que se siguen efectuando investigaciones a partir de prototipos con diferentes modelos de ensamblaje que podrían resultar interesantes en la medida que se piense en reemplazar los compresores utilizados desde hace mucho tiempo atrás, que emplean fluidos frigoríficos a base de compuestos de flúor y de cloro que atacan a la capa de ozono;

Además, como se mencionó anteriormente, se sigue imponiendo la ventaja que ofrece el desarrollo de un equipo compacto que al no poseer partes móviles eliminaría los ruidos y las vibraciones, y posiblemente los costos de mantenimiento a corto Plazo

De acuerdo con las investigaciones realizadas para encontrar los parámetros adecuados de funcionamiento de las celdas Peltier en los sistemas de refrigeración, se determinó que podrían evitar el uso de los sistemas que contaminan el medio ambiente, así mismo, económicamente resultaría rentable en el aspecto que se reducen los costos de mantenimiento y paradas por reparación, debido a que las celdas son económicas y comerciales (se consiguen por S/20 y S/40 cada uno).

Pero, tienen una eficiencia Frigorífica del 15 al 60% por lo que los costos de funcionamiento son altos y es un factor que debe ser evaluado para justificar su aplicación.

El COP depende de la Tensión de Alimentación y, sobre todo a la diferencia de temperatura que existe entre sus caras. En los ensayos se registró que el coeficiente frigorífico aumentó cuando la tensión de alimentación se redujo a 10VDC y la diferencia de temperatura fue de 30°C.

Mientras que disminuyó cuando se alimentó con 13VDC y la diferencia de temperatura entre sus caras fue de 35°C.

Es importante que se dimensione un sistema de transferencia de calor para que el calor generado por la cara caliente sea evacuado y aprovechado en otros procesos, con ello se optimiza el coeficiente de refrigeración. Y se consume menos energía para lograr el rango de temperatura adecuado dentro del ambiente a climatizar.

Lucas, (2011). En su investigación sobre “REFRIGERACIÓN DE VACUNAS MEDIANTE UNA MAQUINA FRIGORIFORICA POR EFECTO PELTIER”. La incorporación de esta tecnología en el campo de la medicina también se encuentra como equipos frigoríficos para la conservación de vacunas. afirma: “La refrigeración termoeléctrica es menos eficiente que los sistemas por conversión, pero posee un control Preciso de la temperatura, da movilidad y sencillez a todo el conjunto, y es amigable con el medio ambiente debido a que no genera residuos peligrosos ni utiliza gases que contaminan la capa de ozono”. Al requerir mayor energía para su funcionamiento se tendrá que evaluar las ventajas, desventajas y justificar su aplicación si se desea realizar una instalación con estos dispositivos.

Al igual que en la presente investigación desarrollada, se confirma que el sistema de enfriamiento con estos dispositivos es preciso, pero consumen mucha energía y si los conectan con fuentes de conversión AC/DC el rendimiento del sistema disminuye.

Esto conlleva a buscar otra fuente de energía que sea rentable, y la instalación con paneles solares resultó conveniente. Con ello se logra una alimentación directa de las baterías y el sistema mantendría su máxima eficiencia. Se obtuvo que, para cada celda Peltier se debe instalar un panel solar de 120Watts, es decir, en el módulo desarrollado en la investigación se utilizaron 4 celdas Peltier TEC1-12715, por lo que se necesitan 4 paneles, una batería de 100Ah y un controlador de carga. Este dimensionamiento se realizó para cuando se requiere climatizar el tablero durante el día, y durante la noche solo tendrá una autonomía de 2.5 horas. Para aumentar el periodo de autonomía del sistema se adiciona la batería y el panel que compensarían la demanda requerida.

Ferrotec (2016). Plantea como recomendación que antes de usar una celda Peltier, es necesario evaluar la aplicación resolviendo las siguientes interrogantes que:

¿Es un sistema o un objeto lo que se debe enfriar? En la investigación lo que se enfrió fue un sistema de elementos pasivos (Tablero, placas metálicas, canaletas, parte de la estructura) y activos (dispositivos como la fuente, interruptores, controlador programable, controladores de temperatura, conversores de señal, relés enchufables, entre otros; donde se convertían en fuente de calor cuando el sistema se ponía en funcionamiento) con distintos fenómenos de transferencia de calor. Luego ¿Cuál es el rango de temperatura a la que el sistema u objeto debe estar? Esto se definió con las fichas técnicas del fabricante y se mantuvo como criterio al elemento más importante del proceso productivo de la empresa el cual se tendrá que acondicionar la temperatura y humedad adecuada para obtener el mayor tiempo de vida útil estimado por el fabricante. ¿Cuánta potencia disipada del sistema o el objeto debe ser retirado? Este dato fue importante porque con él se dimensionó la potencia frigorífica que se debe alcanzar para lograr evacuar el calor emitido por toda la aparamenta del tablero eléctrico.

¿En cuánto tiempo debe llegar el objeto a la temperatura deseada luego de energizarlo? Se estimó en un tiempo de 30 min, esto es porque lo que se consideró fue evitar problemas por fatiga térmica y dañar progresivamente las placas, también el ajuste de tornillo por dilatación y contracción. ¿Cuáles son las condiciones ambientales en las cuales el sistema o el objeto se encuentran para ser enfriados? Este dato se utilizó para dimensionar la potencia frigorífica del módulo climatizador, porque los rendimientos frigoríficos dependen de las condiciones ambientales. El disipador de la cara caliente se encuentra al exterior y usa el aire del entorno para reducir su temperatura. Si el aire aumenta, también resultará afectado la diferencia de temperatura al interior del tablero. ¿Cuáles son las temperaturas extremas a las que se podría exponer el objeto o el sistema? Las temperaturas extremas responden a la máxima potencia de disipación de los componentes internos y se considera que están trabajando a plena carga por lo que es correcto darle el dimensionamiento con un factor de seguridad y puedan responder en determinado momento. ¿Cuál es el espacio que se tiene para la instalación de la celda y de sus accesorios de disipación? Cuando se dimensiona un equipo de climatización es conveniente responder todas las preguntas anteriores, esto es, para obtener las dimensiones requeridas del módulo y buscar la ubicación adecuada a interior del tablero. ¿Con qué fuente de corriente se alimentará? Se determinó que la fuente de alimentación dependerá de los costos de

funcionamiento, el entorno, y la cantidad de recursos disponibles. Siendo la fuente de corriente domiciliar la utilizada en esta investigación. ¿Se controlará la temperatura de enfriamiento? Es necesario controlar la temperatura al interior del tablero para mantener el rango de temperatura constante para los equipos electrónicos y también el control de las 2 zonas de placa Peltier porque un aumento de temperatura de la cara caliente significa el colapso del módulo.

Muñoz (2012). En su investigación sobre “CLIMATIZACIÓN Y CALEFACCIÓN EN EL VEHÍCULO ELÉCTRICO MEDIANTE SISTEMAS TERMO ELÉCTRICOS”. Explica la aplicación en el ámbito automotriz donde se realizó una investigación del comportamiento de un sistema termoeléctrico frente al de uno convencional por compresión, y concluye que debido al limitado desarrollo de los semiconductores para funcionar bajo las mismas condiciones estos no logran la misma eficiencia energética ni los mismos niveles de confort.

Aunque, se identificó las siguientes ventajas:

Baja inversión de fabricación, el nivel de confort deseado se logra rápidamente, liviano con respecto al otro sistema, Precisión al controlar la temperatura, bajo nivel de vibraciones y ruido (solo del ventilador), no utiliza gases refrigerantes, el sistema puede ser reversible (refrigera y calienta).

Del mismo modo en esta investigación se destaca las ventajas que el uso de las celdas Peltier nos brinda como son, la posibilidad de funcionar con energías renovables, configuración reversible, nivel de temperatura alcanzado rápidamente, compacto, facilidad de mantenimiento y reparación con lo que se reducen los periodos de tiempo por falla y averías del sistema.

Se hizo una comparación de la climatización con el modulo Peltier vs el de compresión y resulta viable su aplicación cuando se tiene una demanda frigorífica menor a la capacidad brindada por el sistema por compresión. Es decir, si la demanda de potencia frigorífica es de 75 watts, la potencia de refrigeración mínima disponible de un producto de climatización por compresión es de 380W; mientras lo que se necesita se puede cubrir con 190W con las placas Peltier. Permitiendo realizar una inversión a bajo costo para solucionar la necesidad.

V. CONCLUSIONES

Luego de adquirir los resultados de la Investigación, se concluye que:

- Las condiciones de Funcionamiento de los tableros eléctricos sin gestión Térmica conllevan a un deterioro prematuro de los dispositivos electrónicos debido a la alta temperatura y a la contaminación, lo que ocasiona paradas repentinas de la producción y pérdidas económicas.
- La aparamenta crítica identificable son los controladores lógicos programables, Variadores de Frecuencia y Protecciones de Línea. Son sensibles y requieren un ambiente adecuado con rangos de temperatura y humedad relativa recomendados, para garantizar su longevidad estimada por el fabricante.
- Los Elementos que son dependientes directos de la temperatura y que limitan su vida útil en los dispositivos electrónicos (PLC), son los condensadores, baterías, fusibles y los módulos de entrada de señal.
- La potencia de disipación se encontró utilizando el software Proclima 7.1 de Schneider Electric, así mismo se afianzó de las fichas técnicas de los productos de gamas similares para verificar sus datos.
- La eficiencia Térmica del Módulo Peltier Implementado logró alcanzar un rendimiento frigorífico COP de 0.6 a 10vdc. También se verificó que, para obtener mayor rendimiento, se debe manipulan las tensiones de alimentación y la diferencia de temperatura entre sus caras.
- La Configuración del módulo de climatización fue de montaje Lateral vertical, para evitar que el agua condensada caiga sobre los componentes; y con refrigeración Forzada para aumentar la transferencia de calor en ambas caras y así limitar la temperatura en la cara caliente a menos de 50°C.
- Se fabricó un módulo de climatización con su aparamenta eléctrica de control, distribución y medición a fin de imitar las condiciones en un ambiente industrial real.
- La eficiencia Energética conseguida fue del 53% tomada con una fuente de corriente alterna. Por lo que la mayor cantidad de potencia en el sistema se transforma en calor.
- El módulo Peltier tiene un bajo costo de fabricación en potencias menores a 380W. Se debe invertir S/. 28.43 soles para absorber 1 watts de potencia disipable de los elementos,

Además debido a que su eficiencia, COP, es entre 0.15 y 0.6; los costos de funcionamiento son altos comparándolos con otros sistemas de por compresión.

- La propuesta de implementación del módulo de climatización con celdas Peltier para proteger a los dispositivos electrónicos en la Planta de Carbón resulta viable debido a que le reduciría los periodos de parada por fallas eléctricas en relación con los 3 años anteriores. Debido a que la vida útil de los componentes se prolongaría al doble por estimación del fabricante. Y obtendrían 293.95 soles por cada sol invertido en el climatizador.

VI. RECOMENDACIONES

- El uso de las celdas Peltier en la climatización de los tableros eléctricos es recomendable para potencias menores a 400W. si se requiere obtener mayor potencia frigorífica se tendrá que Reducir la temperatura de la cara caliente mediante, mayor flujo de aire, aumentando el área de disipación o utilizando un disipador con recorrido de agua interna.
- Se recomienda utilizarlo con una fuente renovable, a panel solar o con aerogenerador. Ya que los costos de funcionamiento son altos.
- Se recomienda dimensionarlo con un factor del 2.5 para condiciones donde la temperatura ambiente alcance los 50°C.
- Se recomienda investigar otros modelos de celda Peltier que operen con mayor eficiencia a 12vdc.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALLEN BRADLEY, Productos de automatización industrial. Recuperado de <https://ab.rockwellautomation.com/es/>

BALCÁZAR, A., Teresa, I., & Reyes Aranda, G. J. (2016). Aplicación de la termografía infrarroja en tableros eléctricos de distribución para mejorar la seguridad y la calidad de la energía eléctrica.

BERGMAN, et al. (s.f). Fundamentos de Transferencia de Calor
Fuente: Universidad Carlos III de Madrid

CABRERA, M. (2009). Control de temperatura basado en el efecto Peltier para estudios de mecanismos de formación molecular mediante espectroscopia infrarroja. Año 18 N° 31- octubre de 2009, 2.

CENGEL, Y. A., & Ghajar, A. (2007). Transferencia de calor y masa. McGraw-Hill Interamericana.

CID, sarría y RODRIGUEZ, Rebelo (2011). Termoelectricidad. Aplicación de las placas Peltier a la generación de energía eléctrica en plataformas flotantes. Recuperado de: http://www.aulastecnopole.com/trabajos/Memoria_SAUL-FERNANDO.pdf

DELTA VOLT. (2018). Baterías para Sistemas solares y eólicos. Recuperado de: <https://deltavolt.pe/energia-renovable/baterias>

DIETER, George and Schmidt, Linda. 2000. Engineering design. New york : s.n., 2000.

FERROTEC (2016). Mathematical Modeling of Thermoelectric Cooling Modules. Obtenido de thermoelectric technical Reference

FLÓREZ, J. O. V., & Martínez, A. F. (2017). Implementación de la Celda Peltier en fuentes térmicas de calor residuales, para aprovechamiento de generación de energía eléctrica y

climatización por frío en el hogar. VISIÓN-Revista de Investigaciones UNICIENCIA, 2(2), 62-69.

GALIZIA, Carlos. (2018). Los grados de Protección IP en los equipos e Instalaciones y su Interpretación según IEC Y NEMA. Recuperado de http://electrico.copaipa.org.ar/attachments/102_Interpretaci%C3%B3n%20de%20los%20Grados%20de%20Protecci%C3%B3n%20seg%C3%BAn%20IEC%20y%20NEMA.pdf

GODOY VACA, L. F. (2016). Diseño, construcción y evaluación energética de una cámara con celdas Peltier (efecto termoeléctrico) para refrigeración de vacunas (Bachelor's thesis, Quito, 2016).

GONZÁLEZ GARCÍA, J. (2011). Sistema de refrigeración de estado sólido para instrumentación científica. Tenerife, España: Universidad de La Laguna.

HERRANZ PINDADO, R. (2008). Climatización mediante células Peltier. Proyecto Fin de Carrera. Universidad Pontificia Comillas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Madrid.

LUCAS GUERRA, A. (2011). Refrigeración de vacunas mediante una máquina frigorífica por efecto Peltier (Master's thesis).

Meca Meca, F., & Jiménez Calvo, J. (2009). Horno-nevera basado en células Peltier para el ensayo térmico de dispositivos electrónicos. España: Escuela Politécnica Universidad de Alcalá.

Mitsubishi Electric, 2017. Mantenimiento del sistema PLC. Recuperado de <http://www.mitsubishielectric.com/fa/assist/e-learning/pdf/spa/1>
LC_System_Mainte_fod_spa.pdf

Muñoz Rico, J. R. (2012). Climatización y calefacción en el vehículo eléctrico mediante sistemas termoeléctricos.

OMRON (2018). Página de productos de Instrumentación industrial. Consultado en: <https://industrial.omron.es/es/products>

PASCUAL, A. G., & Morera, X. A. (2005). Instalaciones eléctricas. Marcombo.

RITTAL (2012). Catálogo técnico de Rittal/ Gestión Climática

SANDOVAL, A. P., Espinosa, E., & Barahona, J. L. (2007). Celdas Peltier: Una alternativa para sistemas de enfriamiento con base en semiconductor. Instituto de Electrónica, Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Supercool (2016). Thermoelectric Solutions. Obtenido de supercool: www.supercool.com

Zhao, D., & Tan, G. (2014). A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications. *Applied Thermal Engineering*, 66(1-2), 15-24.

YUS, Carlos. (2017). Electro migración. Consultado en: <http://lowlevelhardware.blogspot.com/2012/04/electromigracion-en-microprocesadores.html>

ANEXOS

RECOMENDACIONES

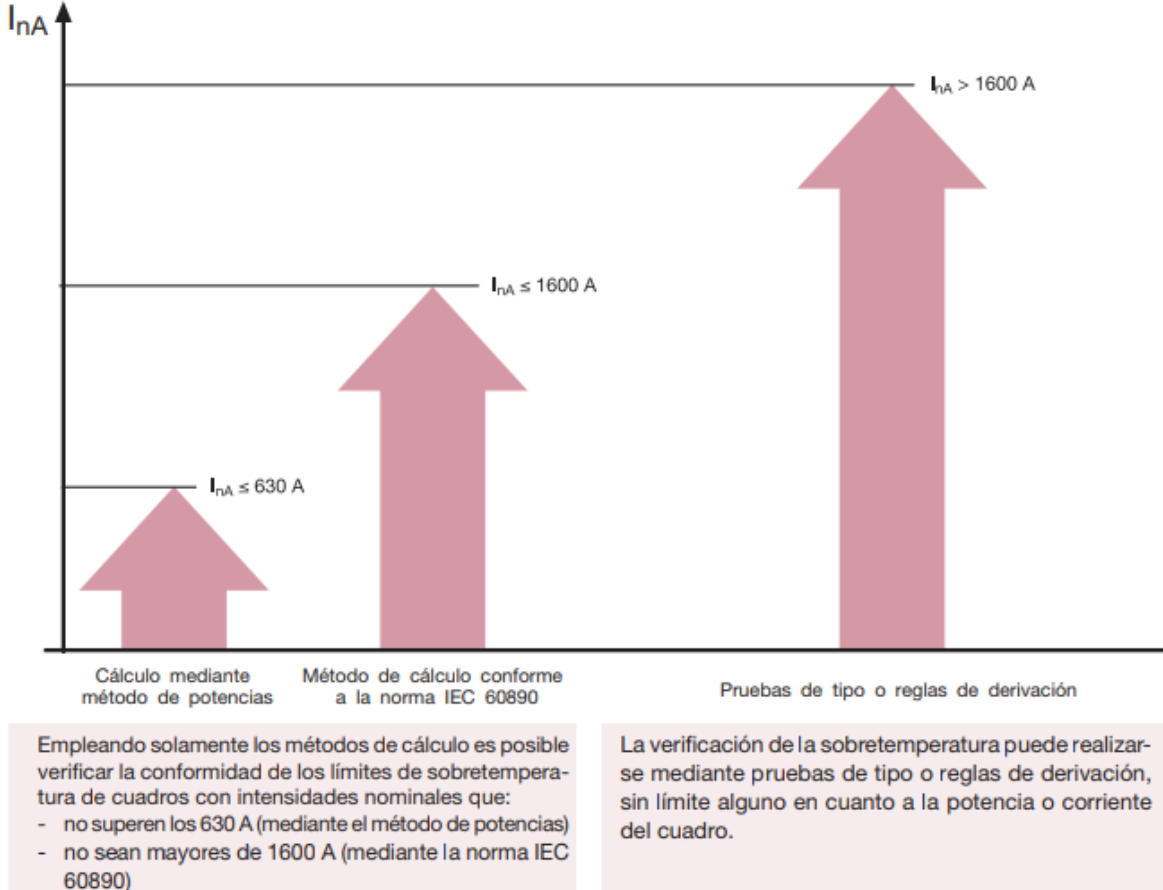


Aplicación adecuada de refrigeradores para armarios

Para una aplicación adecuada de los refrigeradores para armarios deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

1. La instalación y abertura del aparato debe realizarla únicamente personal técnico autorizado.
2. El lugar de ubicación del refrigerador debe seleccionarse de forma que se garantice una buena entrada y salida de aire. El lugar de ubicación debe estar extenso de suciedad y humedad excesivas. La atmósfera no debe contener por ej. polvo conductor o partículas corrosivas.
3. Los datos de conexión a la red indicados en la placa de características (tensión y frecuencia de conexión) deben cumplirse. En refrigeradores 400 V, 2~ recomendamos la utilización de interruptor automático en el transformador; en aparatos con ejecución de corriente trifásica un interruptor de protección del motor.
4. El aparato debe proveerse con los elementos de protección eléctrica prescritos. No debe conectarse al aparato ninguna regulación de temperatura adicional. Como protección de línea debe preverse el fusible indicado en la placa de características. En la instalación deben tenerse en cuenta las normativas locales vigentes.
5. Si se utiliza un interruptor de contacto de puerta en ambientes con altas interferencias electromagnéticas deberá utilizarse un cable apantallado.
6. Durante el funcionamiento del refrigerador en interiores y exteriores debe mantenerse el campo de temperatura indicado en la placa de características.
7. El armario debe ser estanco por los todos los lados (IP 54).
8. Las aberturas de entrada y salida de aire del circuito interior del refrigerador deben mantenerse libres.
9. El caudal de aire frío no debe direccionarse directamente sobre los componentes de la electrónica, a fin de evitar la formación de agua de condensación.
10. El aparato sólo debe montarse en horizontal, según la situación de montaje indicada. La desviación máxima permitida de la horizontal es 2°.
11. Tras desconexión de la tensión de alimentación, el circuito de refrigeración del refrigeración no debe volver a ponerse en marcha antes de 5 minutos.
12. El cliente no está autorizado a realizar modificaciones en el refrigerador.
13. La potencia de pérdida de los componentes instalados en el armario no debe superar la potencia útil de refrigeración específica del refrigerador.
14. Deben tenerse en cuenta todas las indicaciones de montaje incluidas en las instrucciones del refrigerador.

Figura 7.2



Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, Parte 1 y Parte 2 | ABB Cuaderno técnico

Verificación de los límites de sobretensión en el interior de un cuadro eléctrico

A continuación en las tablas 1 a 2 siguientes se da una descripción abreviada de los elementos de los códigos IP y en las tablas 3 y 4 una descripción abreviada de las letras adicionales y suplementarias.

Tabla 1

1ª CIFRA GRADO DE PROTECCIÓN IP (2 Significados)		
1ª cifra del IP	1º Significado): Grado de protección de los materiales o equipos contra el ingreso de cuerpos sólidos extraños	2º Significado): Grado de protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas (contactos o cercanía de las partes bajo tensión)
0	no protegido	no protegido
1	de $\phi \geq 50$ mm	el dorso de la mano
2	de $\phi \geq 12,5$ mm (12 mm lram)	Dedo (12x80 mm)
3	de $\phi \geq 2,5$ mm	Herramienta (2,5 mm)
4	de $\phi \geq 1$ mm	Alambre (1 mm)
5	protegido c/ el polvo	Alambre (1 mm)
6	protegido totalmente c/ el polvo (totalmente estanco)	Alambre (1 mm)

Tabla 2

2ª cifra del Grado de Protección (IP) de la envolvente contra la penetración de agua con efectos perjudiciales (1 solo significado)	
0	No protegido
1	Protegido contra las caídas verticales de gotas de agua
2	Protegido contra las caídas de agua con inclinación máxima de 15° a cada lado de la vertical
3	Protegido c/ el agua en forma de lluvia con inclinación máx. de 60° a c/ lado de la vertical (no debe producir efectos perjudiciales)
4	Protegido contra el agua en todas las direcciones (no debe producir efectos perjudiciales)
5	Protegido contra chorros de agua desde cualquier dirección (no debe producir efectos perjudiciales)
6	Protegido contra fuertes chorros de agua desde cualquier dirección (no debe producir efectos perjudiciales)
7	Protegido c/ los efectos de la inmersión temporal en agua (el agua no debe ingresar en cantidad perjudicial con presión y tiempo normalizados)
8	Protegido contra los efectos de la inmersión prolongada en agua (el agua no debe ingresar en cantidad perjudicial)

Fuente: Galizia, Carlos (s.f). Los grados de Protección IP en los equipos e Instalaciones y su Interpretación según IEC Y NEMA

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TABLERO DE CONTROL			
NUMERO DE ENSAYO			FECHA
CON AISLAMIENTO	SIN AISLAMIENTO		
TIPO DE TABLERO	DIMENSIONES: mm		
CODIGO DE CELDA PELTIER			
TIEMPO	5"	10"	20" 30"
	UNIDAD		
TEMPERATURA AMBIENTE	°C		
TEMPERATURA INTERIOR	°C		
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO	°C		
HUMEDAD RELATIVA	%		
VELOCIDAD DE AIRE INTERIOR	m/s		
VELOCIDAD DE AIRE EXTERIOR	m/s		
VOLUMEN DE AIRE INTERIOR	CMM		
VOLUMEN DE AIRE EXTERIOR	CMM		
TENSION	V		
CORRIENTE	A		
POTENCIA	W		
ENERGÍA	KW-Hr		
COSTO DE ENERGÍA	\$/kw-hr		

ANEXOS

PROTOCOLO DE PRUEBAS DE SISTEMA TERMOELECTRICO PARA LA CLIMATIZACIÓN

III. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

3.1 Recursos y Presupuesto

Tabla : Recursos y Presupuestos de la investigación

código	ITEM	Precio en soles
2.3.15.4	Electricidad, Iluminación y Electrónica	
	Termo anemómetro digital + sensor de velocidad de aire, temperatura y humedad relativa	1500
	Analizador de Redes	1800
	Tablero tipo nema 4, 70x50x25cm	300
	Conductores eléctricos, elementos de fijación, canaletas, fuente de alimentación, aislamiento térmico,	500
	Celda Peltier + aluminio 4 unidades	300
2.3.15.12	Materiales y Útiles de Oficina	
	Papel, laptop, lapiceros, borradores, cintas	100
2.3.22.1	Servicios de energía eléctrica agua y gas.	
	Consumo de electricidad agua y desagüe	200
2.3.13.1	Combustibles, carburantes, lubricantes y afines	600
	Total, S/.	S/.5300.00

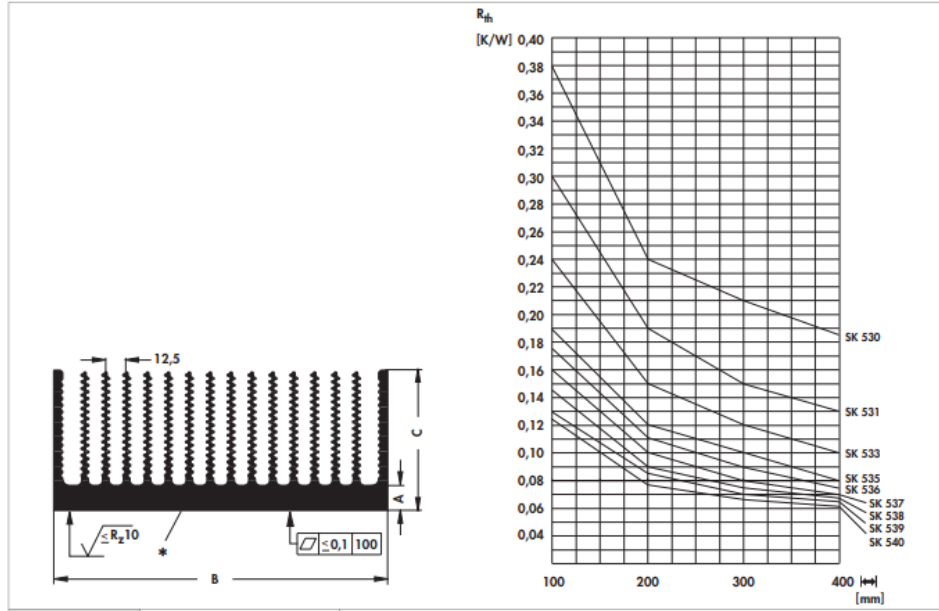
3.2 Financiamiento

Por el autor.



Welded high performance heatsinks

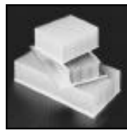
- optimum fin geometry and fin quantity for free convection
- well suited for forced convection
- flat milled base (not SK 530, SK 531)
- * = welded joint (not SK 530, SK 531)
- length according customer's details
- customer specific versions and machining on request



Extruded Heat Sinks



HIGH FIN DENSITY HEAT SINKS FOR POWER MODULES, IGBTs, RELAYS



510, 511 AND 512 SERIES

Standard Catalog P/N ⁽¹⁾	Milled Base ⁽¹⁾	Nonmilled Base ⁽²⁾	Base Width in. (mm)	Length in. (mm)	Height		Thermal Resistance ⁽³⁾ (0.5a) at Typical Load	
					Milled Base ⁽¹⁾ ("M Series") in. (mm)	Nonmilled Base ⁽²⁾ ("U" Series) in. (mm)	Natural Convection ⁽⁴⁾ (°C/W)	Forced Convection ⁽⁵⁾ (°C/W @ 100 CFM)
510-3M	510-3U	510-3U	7.380 (187.452)	3.000 (76.2)	3.106 (78.9)	3.136 (79.7)	0.56	0.088
510-6M	510-6U	510-6U	7.380 (187.452)	6.000 (152.4)	3.106 (78.9)	3.136 (79.7)	0.38	0.070
510-9M	510-9U	510-9U	7.380 (187.452)	9.000 (228.6)	3.106 (78.9)	3.136 (79.7)	0.29	0.066
510-12M ▲	510-12U ▲	510-12U ▲	7.380 (187.452)	12.000 (304.8)	3.106 (78.9)	3.136 (79.7)	0.24	0.062
510-14M ▲	510-14U ▲	510-14U ▲	7.380 (187.452)	14.000 (355.6)	3.106 (78.9)	3.136 (79.7)	0.21	0.059
511-3M	511-3U	511-3U	5.210 (132.33)	3.000 (76.2)	2.350 (59.7)	2.410 (61.2)	0.90	0.120
511-6M	511-6U	511-6U	5.210 (132.33)	6.000 (152.4)	2.350 (59.7)	2.410 (61.2)	0.65	0.068
511-9M	511-9U	511-9U	5.210 (132.33)	9.000 (228.6)	2.350 (59.7)	2.410 (61.2)	0.56	0.060
511-12M	511-12U	511-12U	5.210 (132.33)	12.000 (304.8)	2.350 (59.7)	2.410 (61.2)	0.45	0.045
512-3M	512-3U	512-3U	7.200 (182.88)	3.000 (76.2)	2.350 (59.7)	2.410 (61.2)	0.90	0.120
512-6M	512-6U	512-6U	7.200 (182.88)	6.000 (152.4)	2.350 (59.7)	2.410 (61.2)	0.65	0.068
512-9M	512-9U	512-9U	7.200 (182.88)	9.000 (228.6)	2.350 (59.7)	2.410 (61.2)	0.56	0.060
512-12M	512-12U	512-12U	7.200 (182.88)	12.000 (304.8)	2.350 (59.7)	2.410 (61.2)	0.45	0.045

Notes:

1. Precision-milled base for maximum heat transfer performance (flatness 0.002 in./in.)

2. Nonmilled base flatness: 0.006 in./in.

3. Natural convection heat dissipation for distributed heat sources at 50°C rise.

4. Forced convection heat dissipation for distributed heat sources at 100 cubic feet per minute, shrouded condition.

5. Standard models are provided without finish.

Notes:

1. Precision-milled base for maximum heat transfer performance (flatness 0.002 in./in.)

2. Nonmilled base flatness: 0.006 in./in.

3. Natural convection heat dissipation for distributed heat sources at 50°C rise.

4. Forced convection heat dissipation for distributed heat sources at 100 cubic feet per minute, shrouded condition.

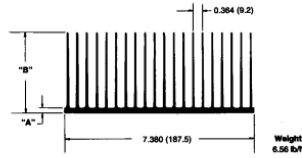
5. Standard models are provided without finish.

MECHANICAL DIMENSIONS

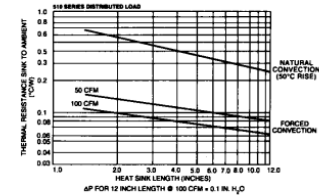
510 SERIES

510 Series (Extrusion Profile 5113)

Series	A	B	Flatness
510-U	0.216 (5.5)	3.136 (79.7)	0.006 in./in. (0.15 mm/mm)
510-M	0.165 (4.2)	3.106 (78.9)	0.002 in./in. (0.05 mm/mm)



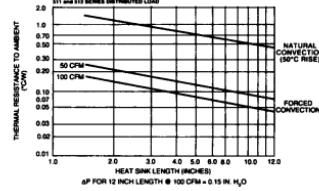
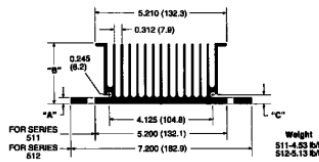
NATURAL AND FORCED CONVECTION CHARACTERISTICS



511 AND 512 SERIES

**511 Series (Extrusion Profile 6438-1)
512 Series (Extrusion Profile 6438-2)**

Series	A	B	C	Flatness
511-U 512-U	0.250 (6.4)	2.410 (61.2)	0.372 (9.4)	0.006 in./in. (0.15 mm/mm)
511-M 512-M	0.220 (5.6)	2.350 (59.7)	0.342 (8.7)	0.002 in./in. (0.05 mm/mm)



Dimensions: in. (mm)

392 SERIES HIGH PERFORMANCE HEAT SINKS FOR POWER MODULES, IGBTs AND SOLID STATE RELAYS

Sistemas de Aire Acondicionado IP55

Características generales:

- Respeto al medio ambiente, gracias al uso del gas ecológico R134a (HFC).
- Termostatos electrónicos en todos los modelos.
- Señal de alarma y contacto de puerta en todos los modelos.
- Cáncamos incluidos.
- Pantalla HMI
- Instalación interior
- Color RAL 7035
- Grado de protección interior IP55
- Frecuencia: 50 / 60 Hz



Referencia	Potencias frigoríficas EN14511 L35-L35		Dimensiones ext. (mm)			Tensión VAC (60Hz)	Peso Kg.	Cantidad Indivisible	Precio \$/
	Watts	BTU/h	alto	ancho	prof.				
NSYCU400	380W	1297 Btu/h	460	285	180	1x 207-253V	17	1	4,533.59
NSYCU600	640W	2184 Btu/h	606	316	212	1x 207-253V	21	1	4,790.39
NSYCU800	820W	2798 Btu/h	783	348	215	1x 207-253V	27	1	5,047.19
NSYCU1K	1000W	3412 Btu/h	783	348	215	1x 207-253V	28	1	5,324.32
NSYCU1K6	1600W	5459 Btu/h	999	405	237	1x 207-253V	40	1	7,744.66
* NSYCU2K	2000W	6824 Btu/h	999	405	237	1x 207-253V	52	1	11,042.00
*NSYCU2K3P4	2000W	6824 Btu/h	999	405	237	3x 400-440V	54	1	11,042.00
*NSYCU3K3P4	2900W	9895 Btu/h	1270	500	336	3x 400-440V	84	1	12,760.00
*NSYCU4K3P4	3850W	13137 Btu/h	1270	500	336	3x 400-440V	85	1	15,208.00

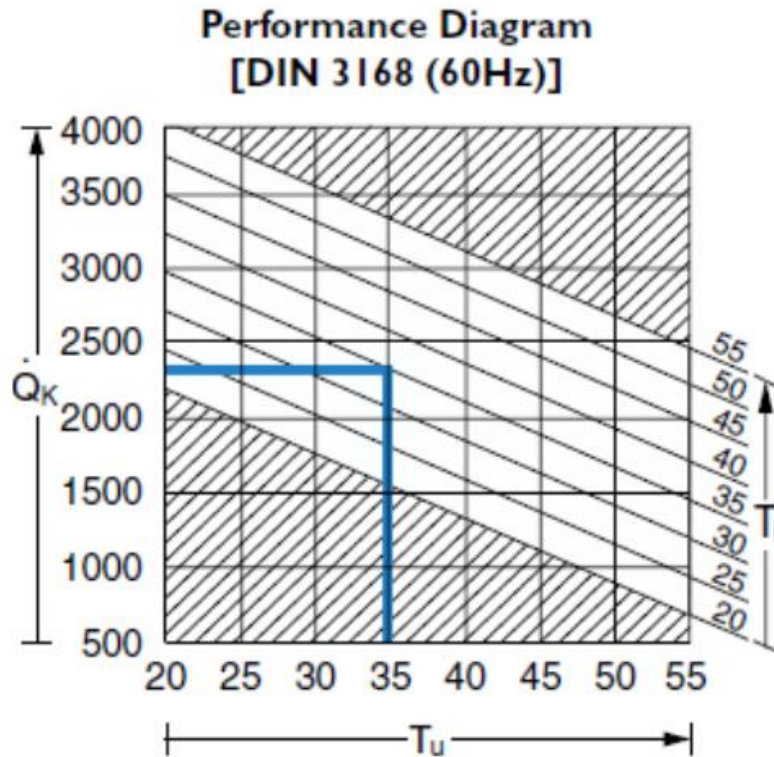


Figura 1. El cuadro de rendimiento de un acondicionador de aire ilustra su capacidad de enfriamiento funcional.

Figura 1. El cuadro de rendimiento de un acondicionador de aire ilustra su capacidad de enfriamiento funcional.

La prueba DIN 3168 se realiza en L35 / L35. El primer L35 se refiere a la temperatura interna del envoltorio (35°C) y el segundo L35 es la temperatura ambiente. En la **Figura 1**, el eje horizontal es la temperatura exterior y el eje vertical representa la capacidad de enfriamiento. Las líneas diagonales son las intersecciones de temperatura interna. Para leer la tabla, seleccione la temperatura exterior en el eje horizontal, dibuje una línea hasta la temperatura interna deseada, luego dibuje una línea horizontal hasta el eje Y. Para el ejemplo que se muestra aquí, la capacidad de enfriamiento de la unidad en L35 / L35 es de 2350Watts (8000 BTU / hr).

Conoce TopTherm

Los acondicionadores de aire TopTherm de Rittal están diseñados para proteger la electrónica delicada de los peligros que a menudo se encuentran en entornos industriales hostiles, como el calor, el exceso de humedad, la suciedad y los fluidos de corte en el aire. Han demostrado ser exitosos en una amplia gama de industrias, incluyendo talleres de máquinas-herramienta, transporte, Automoción, alimentos y bebidas, impresión, control de procesos, embalaje y manipulación, y muchos otros. Todas las unidades TopTherm se someten a pruebas de conformidad con la norma de rendimiento internacional DIN 3168 y cumplen todas las certificaciones y requisitos internacionales, incluidos UL, CUL y CE.

Para obtener más información sobre cómo extender la vida útil de la electrónica sensible en entornos hostiles, simplemente descargue nuestro informe técnico sobre soluciones de administración térmica.

Tabla para obtener el Punto de Rocío

Autor: Lic. Alberto H. Celemín

ver nota del Lic. Celemín

Punto de Rocío

TEMPERATURAS (en grados C)	Humedad relativa																
	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
40°	13	16	19	21	24	26	28										
39°	13	15	18	20	23	25	27	28									
38°	12	14	17	20	22	24	26	27									
37°	11	13	16	19	21	23	25	26	28								
36°	10	12	15	18	20	22	24	25	27	28							
35°	9	11	15	17	19	21	23	24	26	27	28						
34°	8	10	14	16	18	20	22	23	25	26	27	28					
33°	7	10	13	15	17	19	21	22	24	25	26	27	28				
32°	6	9	12	14	16	18	20	21	23	24	25	26	27	28			
31°	5	8	11	13	15	17	19	20	22	23	24	25	26	27			
30°	4	7	10	12	15	17	18	20	21	22	23	25	26	27	28		
29°	4	6	9	11	14	16	17	19	20	21	22	24	25	26	27	28	
28°	3	5	8	10	13	15	17	18	20	20	21	23	24	25	26	27	28
27°	2	4	7	9	12	14	16	17	19	20	20	22	23	24	25	26	27
26°	1	3	6	8	11	13	15	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26
25°	1	3	6	8	10	12	14	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25
24°	0	2	5	7	9	11	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24
23°	0	1	4	6	8	10	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23
22°	-1	1	3	5	7	9	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22
21°	-2	0	2	5	6	8	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21
20°	-3	-1	2	4	6	7	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20

Copyright © 2009 (ver detalles) Todos los derechos reservados -

Registrado en la Dirección Nacional del Derecho de Autor bajo el Nro. 249.511

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177

Peltier - Cooler Module Calculat: X

https://totech.com/peltier-thermoelectric-cooler-module-calculator/?mode=1&dtmax=40&heatLoad=180&hotSideTemp=50&coldSideTemp=20&potted=1&email...

Calculate the Thermoelectric (Peltier) cooling module that is best for your application

Click for instructions on how to use this Module Selector program.

Enter Cooling Requirements

1 DTmax of module: °C

TIP! Need a starting point for DTmax?
70 °C is typical for an unpotted single-stage module
68 °C is typical for a potted module.

2 Heat Load (Q): watts

3 Hot-side Temperature: °C

4 Cold-side Temperature: °C

5 Potted:

Information on potted or sealed (terms are used interchangeably) modules can be found on the page [Moisture Protection & Ruggedizing](#)

09:29 p.m. 05/12/2018

Peltier - Cooler Module Calculat: X

https://totech.com/peltier-thermoelectric-cooler-module-calculator/?mode=1&dtmax=40&heatLoad=180&hotSideTemp=50&coldSideTemp=20&potted=1&email...

Module Calculations

- DT: - Temperature difference, T_{hot} - T_{cold}.
- DT/DTmax: - Ratio of the module's operating temperature difference to the DTmax of the module.
- I/Imax for lowest power: - Ratio of the module's suggested operating current to the Imax of the module.
- Q/Qmax for lowest power: - Ratio of Q to Qmax of a module that's been optimized for minimum power consumption.
- Qmax for lowest power: - Qmax of a module that's been optimized for minimum power consumption.
- Q/Qmax for smallest size: - Ratio of Q to the minimum Qmax capable of meeting the cooling requirements.
- Qmax for smallest size: - Minimum Qmax of a module that will meet the cooling requirement. This generally translates to a module that is as physically small as possible.

09:29 p.m. 05/12/2018