



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Rediseño del sistema de alimentación
de una cámara climática**

TESINA

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Julio César Saavedra González

DIRECTOR (A) DE TESINA

Dr. Edmundo Gabriel Rocha Cozatl



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Resumen

En el presente escrito se presenta una solución para resolver el problema del sistema de alimentación de una cámara climática, utilizada para realizar ensayos reológicos a temperatura y humedad controladas. Además, de un reacondicionamiento de los elementos externos de la cámara, con el fin de que ésta cuente con una presentación más estética, y sea más cómoda de manipular para el usuario.

Por facilidad, se dividió el desarrollo de la solución del problema en tres etapas, las cuales son:

- I. Rediseño del circuito eléctrico y selección de componentes principales.
- II. Selección de elementos de seguridad, componentes secundarios y organización del cuadro eléctrico.
- III. Adquisición y construcción del nuevo sistema de alimentación.

La primera etapa se refiere al análisis e identificación de los componentes del sistema de alimentación que anteriormente utilizaba la cámara climática. Con base en ello, se realizó un rediseño del circuito eléctrico del sistema, de tal manera que se corrigieran los errores y se satisficieran las necesidades del usuario.

En la segunda etapa, se presenta la selección de los elementos de seguridad para el circuito, con el objetivo de evitar accidentes por sobretensión o descargas a los usuarios. También, la selección de componentes secundarios, los cuales complementan el funcionamiento del sistema de alimentación. Además, en esta etapa se define el acomodo y distribución de todos los componentes y elementos mencionados dentro de un gabinete o cuadro eléctrico.

Finalmente, la tercera etapa se refiere a la evaluación, cotización, adquisición y el montaje de todos los componentes y elementos del nuevo sistema de alimentación.

Cabe mencionar, que el trabajo realizado fue en colaboración con la Universidad de Alcalá (UAH) y la empresa MAG SOAR, durante una estancia de investigación, de septiembre a octubre de 2018, en Madrid, España.

Agradecimientos

En esta sección agradezco de todo corazón:

A mi querida familia, por siempre apoyarme incondicionalmente y en todos los sentidos, y que gracias a ese apoyo lograron abrirme las puertas para llegar hasta donde estoy ahora.

A mi padre Juan Carlos Saavedra, por darme el mejor consejo cuando más lo necesitaba. A mi madre Roxana González, por escucharme y darme ese apoyo emocional en todo momento. Y a mi hermana, Vanessa Saavedra, por cuidarme, curarme y acompañarme en desveladas y tiempos difíciles.

A mi profesor de taekwondo, Elías Hernández Juárez, por enseñarme el camino de la disciplina y basar mi vida en principios, y siempre luchar hasta el final para alcanzar mi meta.

A mis profesores, por dedicarme su valioso tiempo y conocimiento, que sin ellos no hubiera podido tener las oportunidades que ahora tengo.

A mi querida Facultad de Ingeniería, por acogerme en sus instalaciones durante toda mi carrera universitaria y darme la mejor educación.

A mi amada UNAM, que me lo dio todo, a mis mejores amigos, el gusto por el deporte y el arte, por darme la mejor experiencia de movilidad estudiantil y por darme la oportunidad de irme de estancia de investigación, que por eso pude realizar este trabajo.

A los mexicanos, que con su esfuerzo y trabajo diario lograron becarme y darme la oportunidad de formarme de la mejor manera, para contribuir en el arduo y posible desarrollo de nuestro país.

Al ingeniero José Luis Pérez y a la Universidad de Alcalá, por aceptarme en la estancia de investigación y darme la oportunidad de seguir aprendiendo y crecer como profesional y como persona.

Al grupo de ingenieros de MAG SOAR, por brindarme su apoyo siempre, y enseñarme que se puede trabajar duro y divertirse.

Índice

Resumen	1
Agradecimientos	2
Índice	3
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	5
1.1 Planteamiento del problema	7
1.2 Objetivo general	9
1.3 Objetivos específicos	9
Capítulo 2. ANTECEDENTES	10
2.1 Célula Peltier	10
2.2 Fuentes de alimentación	12
2.3 Relé o relevador	14
2.4 Diodo	18
2.5 Corriente eléctrica alterna.	24
2.6 Control automático	26
Capítulo 3. DESARROLLO	31
3.1 Rediseño del circuito eléctrico y selección de componentes principales.	31
3.1.1 Célula Peltier	34
3.1.2 Diodo rectificador.	35
3.1.3 Fuente de alimentación de CD.	36
3.1.4 Relé de estado sólido.	39
3.1.5 Resumen de componentes seleccionados.	41

3.2 Selección de elementos de seguridad, componentes secundarios y organización del cuadro eléctrico.	42
3.2.1 Elementos de seguridad.	42
3.2.2 Componentes secundarios	45
3.2.3 Circuito eléctrico del nuevo sistema de alimentación.	49
3.2.4 Organización del cuadro eléctrico	50
3.3 Adquisición y construcción del nuevo sistema de alimentación.	55
Capítulo 4. RESULTADOS	66
Capítulo 5. CONCLUSIONES	71
ANEXOS	73
Anexo A. Carta de aceptación de la estancia de investigación	73
Anexo B. Carta de finalización de la estancia de investigación	74
BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA	75

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Una cámara climática es un equipo utilizado en laboratorios, diseñados para reproducir condiciones controladas de temperatura y humedad en su interior para la realización de estudios o ensayos, y verificar el comportamiento y la calidad de productos, sustancias o materiales expuestos a dichas condiciones climáticas. [1]

La cámara climática con la que se trabajó fue diseñada por un grupo de ingenieros de la empresa MAG SOAR. Dicha cámara está compuesta de una estructura que es de aluminio y de forma de un prisma octagonal. En su interior las condiciones son de vacío, con una presión de 0.25 bar, y dentro contiene un sensor de temperatura y otro de humedad, de tal forma que sea posible medir estas propiedades. En sus paredes se encuentran colocados componentes electrónicos llamados células Peltier.

Una célula Peltier, también conocida como módulo Peltier, es un dispositivo utilizado para la refrigeración termoeléctrica, el cual está basado en el efecto Peltier. Dicho efecto hace referencia a la creación de una diferencia de temperatura debida a una diferencia de potencial eléctrico. Sucede cuando una corriente eléctrica se hace pasar por dos metales semiconductores conectados por dos “junturas de Peltier”. La corriente propicia una transferencia de energía en forma de calor de una juntura a la otra: una se enfría en tanto que otra se calienta. [2] Físicamente es como se muestra en la figura 1.1.

En el montaje de la cámara, el lado frío de las células Peltier está en contacto con las paredes de la misma, mientras que el lado caliente se encuentra en contacto con una bomba, esta bomba pertenece a un sistema de refrigeración comercial (Hydro Series H110i GT). Dicho sistema está compuesto de un radiador de 280 mm y dos ventiladores SP140L PWM, los cuales disipan eficazmente el calor generado. Esto sirve como una forma de protección para evitar sobrecalentamiento. Además, con éste dispositivo es posible monitorear y supervisar la temperatura del lado caliente de la célula Peltier.

Para el caso de la humedad, la cámara está conectada a un depósito que se llena parcialmente de agua, en donde se le hace vacío y se deja que el agua se evapore llegando al equilibrio, alcanzando la presión de vapor para una temperatura específica. Después, con una válvula se regula la cantidad de vapor que se mete dentro de la cámara, y como adentro de la cámara se tiene condiciones de vacío, se genera succión, y el vapor ingresa al interior de la cámara sin calor.

En la figura 1.2, se muestra una fotografía de la cámara climática con la que se trabajó.

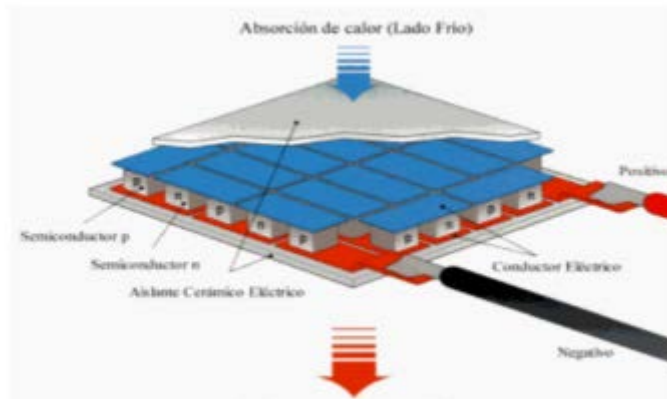


Figura 1.1 Módulo o célula Peltier. [3]



Figura 1.2 Cámara climática diseñada por MAG SOAR.

1.1 Planteamiento del problema

Para una cámara climática, el mantener controlada la temperatura y humedad es una actividad vital. Es por eso que se requiere tanto de una buena absorción como disipación de calor, y para ello es necesario que la cámara cuente con un buen sistema de conducción térmico.

A partir de este momento, cada que se mencione las palabras *cámara climática*, harán referencia a la cámara climática con la que se trabajó.

Para que la cámara climática cumpla con su función vital, en gran medida depende de un correcto acomodo o configuración de actuadores que realicen la tarea de calentar o enfriar el interior de la cámara. Para cumplir con dicha tarea, los actuadores utilizados son los dispositivos termoeléctricos llamados células Peltier, estos dispositivos ya habían sido probados anteriormente sobre la estructura de la cámara climática con una configuración octagonal, es decir, que se colocaron ocho células Peltier sobre las paredes de la cámara. De hecho, pudo comprobarse que esta cantidad de actuadores es suficiente, al utilizarse la cámara climática para hacer pruebas experimentales que ayudaron en la publicación del artículo científico “*Ice Surface Entropy Induction by Humidity or How Humidity Prompts Freezing*” [4]

Sin embargo, la antigua conexión del sistema de alimentación consistía en una única fuente de alimentación que proporcionaba energía a ocho células Peltier, es decir, un tipo de conexión en paralelo de las células con la fuente de alimentación. Teóricamente la distribución de corriente de la fuente hacia las células tiene que ser uniforme, ya que se trata del mismo dispositivo eléctrico, es decir, que la corriente total de carga es ocho veces la corriente que demanda una célula Peltier. No obstante, se realizaron varias pruebas con dicha conexión mencionada, y se observó que este tipo de circuito fallaba en su estado permanente, ya que existía un desbalance de corrientes y por lo menos una célula terminaba superando su corriente máxima permitida, lo que ocasionaba la descomposición de ese actuador. Existen suposiciones sobre este problema, pero el objetivo de esta investigación no fue profundizar en el origen de dicha problemática, sino brindar una alternativa de solución que fuera rápida viable, confiable y útil para el sistema de alimentación de la cámara climática.

Por lo tanto, el principal problema a resolver fue la descompensación de energía y afectación que existe entre las células Peltier, que era la causa que provocaba la descomposición de dichos dispositivos. Además, se dio una mejor presentación al sistema de alimentación, incluyendo seguridad para los usuarios u operadores de la cámara. En las siguientes figuras, se muestra el antiguo sistema de alimentación.



Figura 1.3 Vista frontal (Izquierda) y vista trasera (Derecha).



Figura 1.4 Contenido interno del antiguo sistema de alimentación.

En la figura 1.3 se puede observar la parte frontal y trasera del antiguo sistema de alimentación. La parte frontal consistía en el panel del sistema, en dicho panel se encontraban dos controladores de proceso PID y ocho amperímetros analógicos. Mientras que en la parte trasera se encuentran los enchufes para alimentar a los dispositivos internos, y las entradas de conexión hacia las células Peltier.

Finalmente, en la figura 1.4 se puede observar que la presentación interna del antiguo sistema de alimentación no era adecuada, porque tenía un cableado caótico, es decir, era difícil identificar qué tipo de señal transmitía cada cable. Además, de que no contenía elementos de seguridad.

1.2 Objetivo general

Rediseñar la etapa de alimentación de una cámara climática agregando elementos eléctricos necesarios, de tal manera que se resuelva el problema de descompensación de energía de las células Peltier utilizadas.

1.3 Objetivos específicos

- Rediseñar el circuito eléctrico del antiguo sistema de alimentación de una cámara climática.
- Mejorar la apariencia de la instalación y cableado eléctrico de la cámara climática.
- Implementar elementos de seguridad al nuevo sistema de alimentación.

Capítulo 2. ANTECEDENTES

2.1 Célula Peltier

Las células Peltier son unos dispositivos termoeléctricos que se caracterizan por la aparición de una diferencia de temperatura entre las dos caras de un semiconductor cuando por él circula una corriente eléctrica. Estos sistemas son capaces de transformar la energía eléctrica en energía térmica. [5]

Si bien el efecto Peltier es conocido desde 1834, su aplicación práctica necesitó del desarrollo de los semiconductores, pues éstos resultan ser buenos conductores de carga eléctrica, pero pobres guías del calor. La circulación de una corriente eléctrica a través de dos materiales semiconductores con diferente densidad de electrones libres produce que se libere o se absorba energía. La transferencia de energía tiene lugar en forma de flujo calorífico entre las dos caras de los semiconductores. [5]

Efecto Peltier

En 1834, el señor Jean C. A. Peltier descubrió el “efecto Peltier”. El cual consiste en la manifestación de una variación térmica en la unión de 2 metales diferentes, cuando se establece una corriente eléctrica entre ellos. El concepto rudimentario de Peltier fue paulatinamente perfeccionado para que fuera un solo bloque con las uniones semiconductores, conectadas por pistas de cobre y dispuestas de tal manera, que transportara el calor desde una de sus caras hacia la otra, haciendo del mecanismo una “bomba de calor” ya que es capaz de extraer el calor de una determinada superficie y llevarlo hacia su otra cara para disiparlo, este dispositivo es denominado Celda Peltier o Dispositivo Termoeléctrico Peltier (TEC) el cual se utiliza principalmente los sistemas de refrigeración. [6]

Características

Existen células Peltier con dimensiones y potencias diversas. También existen células aisladas y no aisladas, en función de que encima y debajo de las dos superficies exista, o no, una capa fina de material cerámico, necesario para aislar las láminas de cobre de las distintas células; por consiguiente, estas dos superficies se pueden apoyar sobre cualquier plano metálico sin necesidad de aislantes, o no.

El frío o calor que puede generar un módulo Peltier viene especificado por el salto térmico (diferencia térmica, incremento, etc.) que indican sus fabricantes.

En teoría un salto térmico de 70 grados significa que, si el lado caliente de la célula se ha estabilizado a una temperatura de 45 grados, en el lado frío existe una temperatura de $45 - 70 = -25$ grados. [7]

Peligros en el uso de las células Peltier

Si bien un enfriador Peltier puede ser una perfecta solución térmica, si el diseño es insuficiente o los ventiladores están instalados inadecuadamente puede ser peligroso. A continuación, algunos puntos a considerar:

- **Sobrecalentamiento:** Si la ventilación de la célula falla o no cuenta con un disipador, existe la posibilidad de que el dispositivo Peltier pueda dañarse por sobrecalentamiento.
- **Problemas eléctricos:** La célula Peltier consume una potencia eléctrica considerable, especialmente al arranque, por lo que debe de considerarse este parámetro eléctrico. Otro problema puede ser el cableado eléctrico del elemento Peltier, si es demasiado fino. Este puede no ser suficiente para poder con los requerimientos del Peltier, y se sobrecalentará. [7]

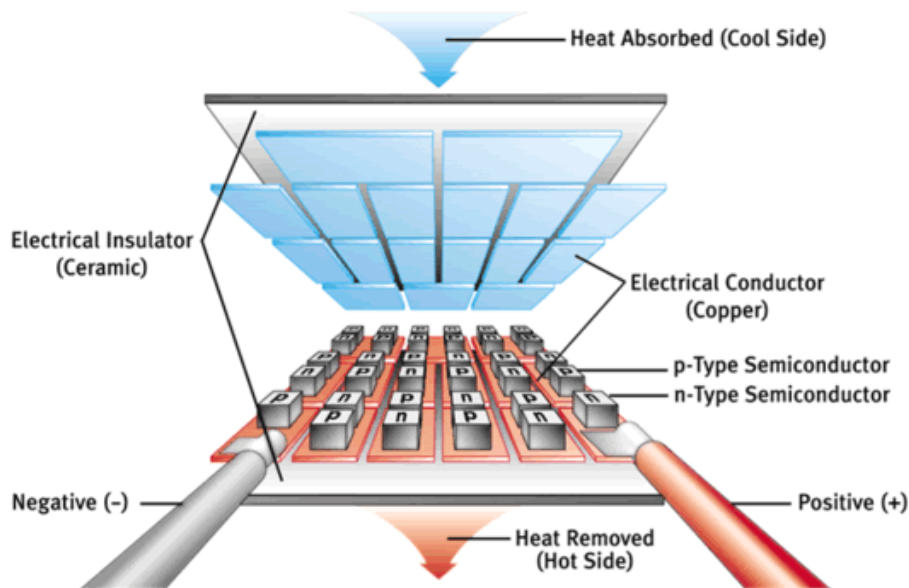


Figura 2.1 Composición interna de una célula Peltier. [8]

2.2 Fuentes de alimentación

Una fuente de alimentación es un dispositivo que convierte tensión (diferencia de potencial) AC en tensión DC, es decir, la conversión de la tensión alterna de una red industrial, en una tensión prácticamente continua. [9]

A grandes rasgos una fuente de alimentación regulada o estabilizada consta de tres bloques o secciones: Rectificación, filtrado y regulación. [9][10]

- **Rectificación**

La rectificación se lleva a cabo mediante el uso de un transformador y uno o más diodos, los cuales hacen que de una señal C.A. se pueda producir una señal de bajo voltaje de C.C. El transformador es un dispositivo que consta de un circuito magnético y de dos o más embobinados, la función del transformador es la de reducir el voltaje de C.A. de la línea a niveles que puedan ser manejados por circuitos electrónicos. [10]

El diodo es un elemento semiconductor, cuya función es rectificar el voltaje de C.A. que entrega el transformador, el principio de operación de un diodo es el siguiente: al aplicar un voltaje a las terminales del diodo creamos una polarización en el mismo, cuando esta es directa, es decir, el voltaje aplicado al ánodo es mayor que el del cátodo, el diodo conducirá la corriente a través del dispositivo, en caso contrario, el diodo no conduce. Existen dos tipos de rectificaciones, las cuales son: rectificación de media onda y rectificación de onda completa. [10]

- **Filtrado**

La sección de filtrado tiene como objetivo suavizar la onda que sale de la sección de rectificación, dando así un voltaje de C.C. Para hacer este proceso, comúnmente, son utilizados elementos eléctricos pasivos como los condensadores. [10]

- **Regulación**

La función de un regulador de voltaje es convertir un voltaje de C.D. a la entrada a un voltaje C.D. a la salida específico, estable y mantenerlo independiente de las condiciones de carga y de voltaje C.D. de entrada. [10]

Clasificación de las fuentes de alimentación.

Existen básicamente dos tipos de fuentes, las cuales son:

- **Fuentes de alimentación lineales**

Este tipo fuentes siguen el esquema de: transformador, rectificador, filtro, regulación y salida. Entre sus características se tiene que: [11]

- Su diseño es sencillo y son más económicas (producción en serie).
- Bajo rendimiento (30-60%).
- Elevado volumen y peso.
- Se obtiene una mejor regulación y velocidad.
- No acoplan ruido en alta frecuencia (HF). [9]

- **Fuentes de alimentación conmutadas**

Este tipo de fuentes trabajan en régimen de conmutación, y surgen para aplicaciones aeroespaciales; transforman la energía eléctrica mediante transistores en conmutación. Entre sus características se tiene que: [10][12]

- Mayor eficiencia energética (70-90%).
- Menos calentamiento.
- Más complejas y costosas.
- Pequeño tamaño, peso y costo (Transformador de alta frecuencia).
- Se ven afectadas por interferencias electromagnéticas. [10]

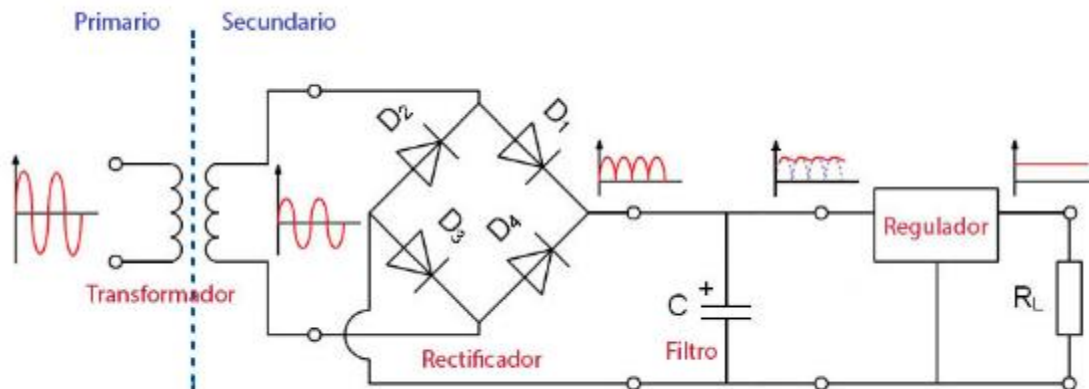


Figura 2.2 Esquema de una fuente de alimentación lineal. [12]

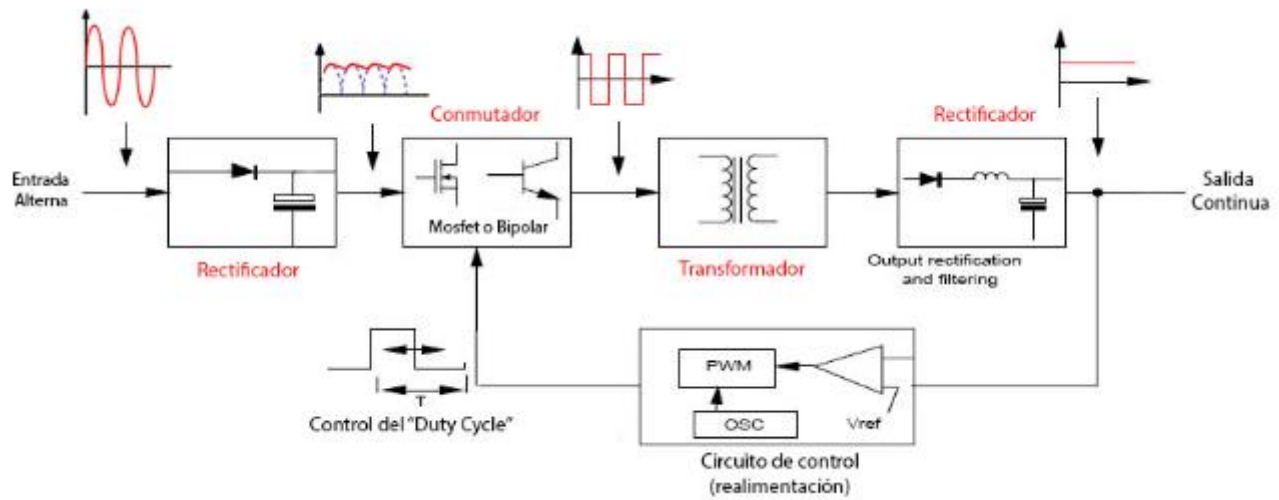


Figura 2.3 Esquema de una fuente de alimentación conmutada. [12]

Finalmente, en una fuente de alimentación, nos interesa la tensión y la corriente de salida, el rendimiento, el cociente de la potencia total de salida y el valor de potencia activa de entrada. El factor de potencia es el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente de entrada, que utilizamos para medir la calidad de la energía eléctrica utilizada. La regulación es la habilidad para mantener constante la tensión de salida, independientemente de la variación en la tensión de entrada (regulación de entrada) o de la carga (regulación de carga). Además, la seguridad personal y del equipo electrónico en las instalaciones es una prioridad, es por eso que se deben prever protecciones en el caso de sobrecarga o de cortocircuitos. [13]

2.3 Relé o relevador

El relé o relevador es un dispositivo eléctrico que funciona como un interruptor, abrir y cerrar el paso de corriente eléctrica, pero accionado eléctricamente. Contiene dos contactos, uno abierto (normalmente abierto, NA) y otro cerrado (normalmente cerrado, NC), como se muestra en la figura 2.4, aunque puede tener más de dos contactos. [14]

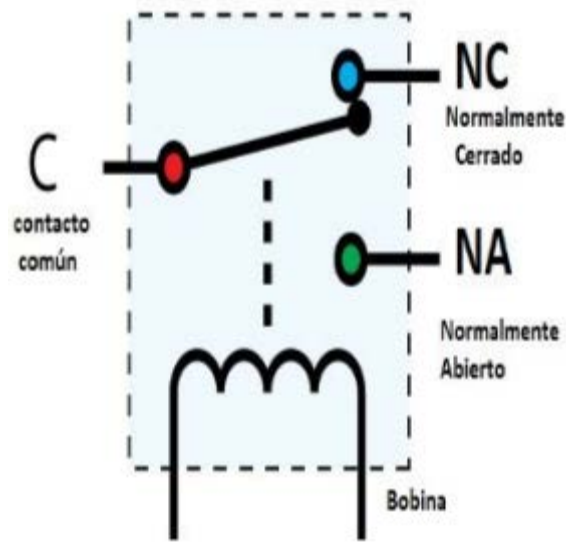


Figura 2.4 Símbolo esquemático de un relé de un polo y dos tiros (SPDT). [14]

Principio de funcionamiento

Un relé es un interruptor accionado por un electroimán. Un electroimán está formado por una barra de hierro dulce, llamada núcleo, rodeada por una bobina de hilo de cobre. Al pasar una corriente eléctrica por la bobina, el núcleo de hierro se magnetiza por efecto del campo magnético producido por la bobina, convirtiéndose en un imán tanto más potente cuanto mayor sea la intensidad de la corriente y el número de vueltas de la bobina. Al abrir de nuevo el interruptor y dejar de pasar corriente por la bobina, desaparece el campo magnético y el núcleo deja de ser un imán. [15]

El relé más sencillo está formado por un electroimán como el descrito anteriormente, y un interruptor de contactos, como se muestra en la figura 2.5. Al pasar una pequeña corriente por la bobina, el núcleo se imanta y atrae al inducido por uno de sus extremos, empujando por el otro a uno de los contactos hasta que se junta, permitiendo el paso de la corriente a través de ellos. Esta corriente es, normalmente, mucho mayor que la que pasa por la bobina. [15]

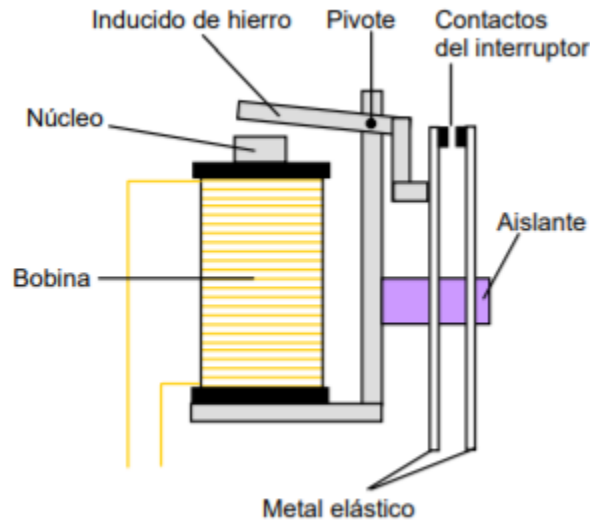


Figura 2.5 Relé con electroimán. [15]

Tipos de relés

Existen multitud de tipos distintos de relés, dependiendo del número de contactos, de su intensidad admisibles, del tipo de corriente de accionamiento, del tiempo de activación y desactivación, entre otros. [16]

- **Relés electromecánicos**

Se dividen en los siguientes tipos:

- **Armadura:** Un electroimán provoca la basculación de una armadura al ser activado, cerrando o abriendo los contactos dependiendo de si es N.A (normalmente abierto) o N.C (normalmente cerrado).
- **Núcleo móvil:** A diferencia del anterior modelo estos están formados por un émbolo en lugar de una armadura. Debido a su mayor fuerza de atracción, se utiliza un solenoide para cerrar sus contactos. Es muy utilizado cuando hay que controlar altas corrientes.
- **Reed o de lengüeta:** Están constituidos por una ampolla de vidrio, con contactos en su interior, montados sobre delgadas

láminas de metal. Estos contactos conmutan por la activación de una bobina, que se encuentra alrededor de la mencionada ampolla.

- **Polarizados o biestables:** Se componen de una pequeña armadura, solidaria a un imán permanente. El extremo inferior gira dentro de los polos de un electro imán, mientras que el otro lleva una cabeza de contacto. Al excitar el electro imán, se mueve la armadura y provoca el cierre de los contactos. Si se polariza al revés, el giro será en sentido contrario, abriendo los contactos o cerrando otro circuito. [16]

- **Relés de estado sólido (SSR)**

Se llama relé de estado sólido (Solid State Relay, SSR) a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, a un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac. [16]

Los relés de estado sólido utilizan semiconductores de potencia como tiristores y transistores para conmutar corrientes hasta más de 100 amperes. Estos relés pueden conmutar a muy altas velocidades (del orden de milisegundos) en comparación a los electromecánicos, y no tienen contactos mecánicos que se desgasten. [17]

- **Relé de corriente alterna**

Cuando se excita la bobina de un relé con corriente alterna, el flujo magnético en el circuito magnético, también es alterno, produciendo una fuerza pulsante, con frecuencia doble, sobre los contactos. Es decir, los contactos de un relé conectado a la red, en algunos lugares, como varios países de Europa y América Latina oscilan a 2x50 Hz y en otros, como en Estados Unidos lo harán a 2x60 Hz. En un relé de corriente alterna se modifica la resonancia de los contactos para que no oscilen. [16]

- **Relé de láminas**

Este tipo de relé se utilizaba para discriminar distintas frecuencias. Consiste en un electroimán excitado con la corriente alterna de entrada que atrae varias varillas sintonizadas para resonar a sendas frecuencias de interés. La varilla que resuena acciona su contacto, las demás no. Los relés de láminas se utilizaron en aeromodelismo y otros sistemas de telecontrol. [16]

- **Relé de acción retardada**

Son relés que ya sea por particularidad de diseño o bien por el sistema de alimentación de la bobina, permiten disponer de retardos en su conexión y/o desconexión.

- **Relés con retardo a la conexión:** El retardo a la conexión de relés puede obtenerse mecánicamente aumentando la masa de la armadura a fin de obtener mayor inercia del sistema móvil; o bien, aumentando la presión de los resortes que debe vencer la fuerza de atracción del relé. [16]
- **Relés con retardo a la desconexión:** También es posible obtener retardo a la desconexión por medios mecánicos, disminución de la presión de los resortes del relé. [16]

- **Relé con retención de posición**

En este caso los relés poseen un diseño en el cual tienen remaches de elevada remanencia colocados dentro de orificios practicados en el núcleo y la armadura de los mismos, y en exacta coincidencia. Por estar perfectamente rectificadas las caras polares en contacto al cerrar el circuito magnético del relé quedará en esa posición, por remanencia magnética, aunque la bobina se desconecte, retornando a la posición de reposo inicial sólo cuando una corriente de sentido contrario vuelva a abrirlo. [16]

2.4 Diodo

El diodo es el dispositivo electrónico más sencillo, se forma con la unión de los semiconductores uno del tipo N y otro del tipo P y se puede fabricar en estructura vertical o plana como se muestra en la figura 2.6. [18]

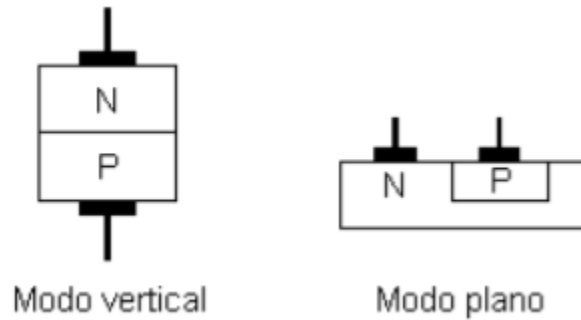


Figura 2.6 Construcción del diodo. [18]

Su comportamiento ideal nos muestra al diodo como un dispositivo capaz de permitir el flujo de corriente en una dirección (ánodo a cátodo) con una resistencia de valor cero, mientras que presenta una resistencia infinita cuando el flujo de la corriente se realiza en sentido contrario (cátodo a ánodo), este comportamiento se puede visualizar en la figura 2.7.

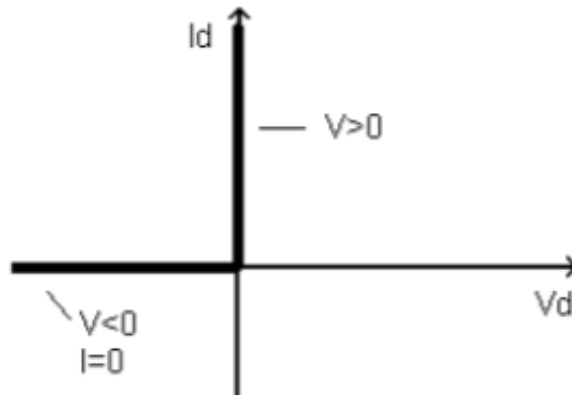


Figura 2.7 Curva del comportamiento ideal del diodo. [18]

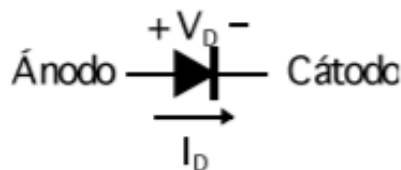


Figura 2.8 Esquema eléctrico del diodo. [19]

Sin embargo, el comportamiento del diodo real es diferente. Primero debemos ver el comportamiento electrónico de su construcción. Como sabemos el diodo se forma de la unión de dos materiales semiconductores; uno tipo P y otro tipo N, ambos construidos de la misma base Ge (germanio) o Si (silicio). Cuando ambos materiales se juntan físicamente, los electrones y los huecos de la región de la unión se combinan de tal forma que se genera una zona libre de carga. A esta zona se le denomina *zona de agotamiento*. [18]

Unión PN sin polarización

En esta situación tanto el material semiconductor P como el N, están libres de cargas o campos eléctricos externos. Para este caso los portadores de cada material son atraídos por su contraparte, esto se acentuará más en la zona de agotamiento, donde podremos encontrar portadores de carga de signo contrario al material. [18]

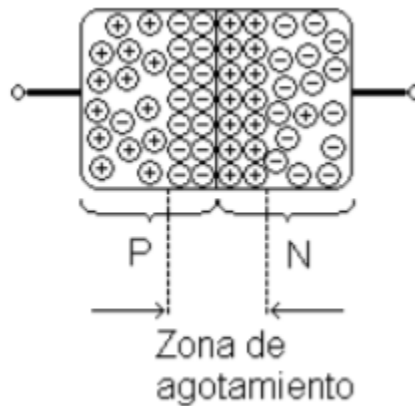


Figura 2.9 Unión PN sin polarización. [18]

Al hacer un análisis de la corriente veremos que esta combinación genera un flujo de portadores en ambas direcciones. Sin embargo, cada material llega a una condición de equilibrio, en la cual no existe un exceso de carga contraria dentro de un material. Por lo cual podemos afirmar que, el flujo neto de carga en cualquier dirección sin voltaje aplicado, es cero. [18]

Polarización inversa

Al aplicar un potencial externo a la unión PN de tal forma que la terminal positiva se conecta al material tipo N y la terminal negativa al material tipo P, el número de portadores descubiertos en la zona de agotamiento del material N se incrementará debido al gran número de electrones libre atraídos por el potencial positivo del voltaje aplicado. De manera similar el número de portadores negativos descubiertos en el material P aumentará. Sin embargo, el efecto resultante es una

ampliación de la zona de agotamiento. Esto crea una gran barrera que debe vencer la corriente para fluir. A pesar de que existe una oposición de corriente, el diodo genera por si mismo una pequeña corriente que se llama corriente de saturación inversa (I_s). El valor de esta corriente es muy pequeño del orden de microamperes, el término “saturación”, se refiere al hecho a que alcanza su valor máximo rápidamente y se mantiene constante aún con el aumento del voltaje aplicado. [18]

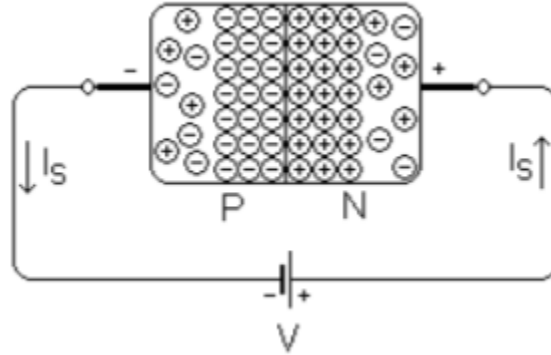


Figura 2.10 Polarización inversa. [18]

Polarización directa

Cuando se aplica un voltaje de tal forma que la terminal positiva se conecte al material tipo P y la terminal negativa se conecte con el material tipo N, se dice que se polariza en forma directa, el efecto de esta polarización se refleja en la disminución de la zona de agotamiento, lo cual representa una oposición menor al flujo de corriente. La magnitud de la corriente se incrementa en forma exponencial, a medida que aumentamos el voltaje de la polarización directa. [18]

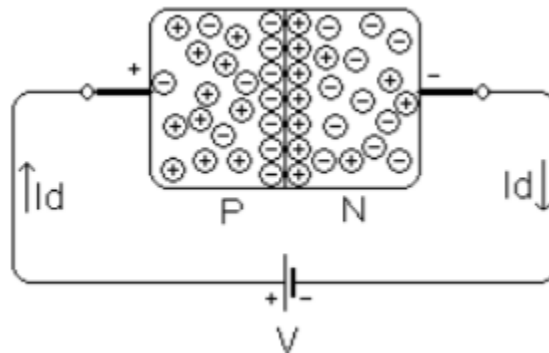


Figura 2.11 Polarización directa. [18]

En la figura 2.12 se muestra la curva característica del comportamiento del diodo real.

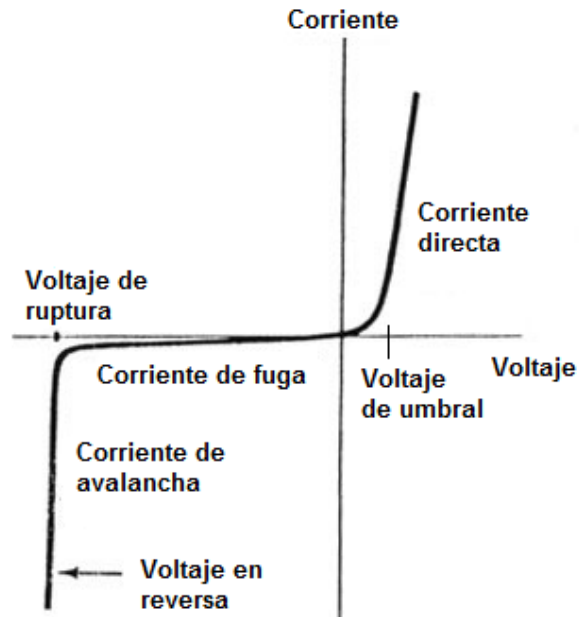


Figura 2.12 Curva característica del diodo real. [20]

Una vez introducido el diodo de unión P-N, se explicarán algunos tipos de diodos comúnmente utilizados que, también están basados en principio en una unión P-N, aunque en algunos casos su comportamiento o su composición no se parece mucho a la del diodo original.

Diodo Zener

El diodo Zener es un diodo basado también en una única unión P-N, pero sus niveles de dopado son completamente diferentes de los normalmente encontrados en un diodo normal. Generalmente se le hace funcionar en lo que se denomina zona de ruptura (tercer cuadrante de la curva característica), es decir, aplicándole una tensión inversa superior a la tensión de ruptura. [19]

Su principal característica es que, si se le aplica una tensión eléctrica positiva del ánodo respecto a negativa en el cátodo, polarización directa, toma las características de un diodo rectificador básico, pero para el caso contrario, es decir, polarización inversa, el diodo mantendrá una tensión constante. No actúa como rectificador sino como un estabilizador de tensión. [21]

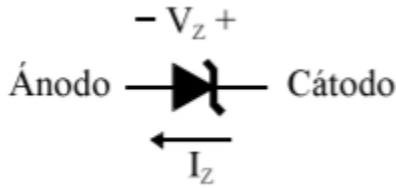


Figura 2.13 Símbolo eléctrico del diodo Zener. [19]

Diodo Schottky

El diodo Schottky se caracteriza por una unión metal semiconductor ligeramente dopado y también produce un efecto rectificador. Al igual que en el diodo de unión se forma una zona de agotamiento en la que los electrones de la zona N buscan niveles de energía menores y, por tanto, pasan al metal. Cuando se forma la zona de agotamiento hay un paso de electrones del metal al semiconductor, forzado por el campo eléctrico presente, que iguala al anterior y, por tanto, no circula corriente a través del dispositivo. Por tanto, el diodo Schottky presenta una caída de tensión directa en conducción mucho menos que un diodo de unión P-N (sólo 0.2 frente a los 0.7 V del diodo de Si) y además tiene un tiempo de recuperación inversa mucho menor, y puede trabajar a frecuencias más altas, que un diodo unión. Sus desventajas por otra parte son una menor tensión de ruptura y corrientes de pérdidas mayores que un diodo de unión. [19]

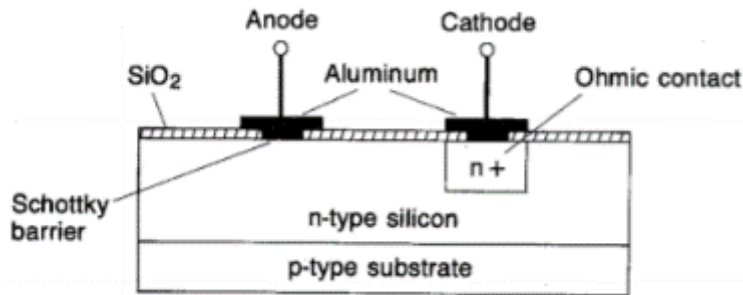


Figura 2.14 Diodo Schottky de estructura interna. [20]

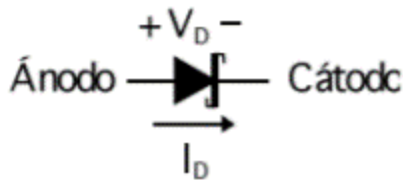


Figura 2.15 Símbolo eléctrico del diodo Schottky. [19]

2.5 Corriente eléctrica alterna.

La corriente alterna aparece cuando un circuito constituido por resistencia, condensadores y autoinducciones conectados entre sí, se alimenta con una fuerza electromotriz $e(t)$ que varía de forma armónica (alterna) a lo largo del tiempo. Esto significa que la fuerza electromotriz sigue una ley de la forma:

$$e(t) = E_0 \cos(\omega t + \varphi_E)$$

Donde E_0 es la amplitud de la fuerza electromotriz, ω su frecuencia angular y φ_E su fase inicial (el argumento de la función coseno es la fase en el instante t). Cuando la alimentación es armónica, las intensidades y caídas de tensión en cada elemento del circuito son también armónicas una vez establecido el régimen estacionario. [22]

Valores eficaces de la tensión y la intensidad de corriente eléctrica.

Se llama valor efectivo o eficaz de una magnitud alterna al valor cuadrático medio de la misma (en inglés RMS, de root mean square). Los aparatos de medida están diseñados para dar los valores efectivos de las magnitudes alternas, y estos son los valores que se manejan en la práctica. [22]

El valor eficaz de la tensión o la intensidad es proporcional a la amplitud. Por ejemplo, para el caso de la intensidad, su valor eficaz I será la raíz cuadrada del valor medio sobre un periodo completo de la intensidad al cuadrado, es decir:

$$I = \left[\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i^2(t) dt \right]^{1/2}$$

Donde $T=2\pi/\omega$, es el periodo y t_0 un instante cualquiera. Sustituyendo la expresión para la intensidad instantánea y operando resulta que:

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

En general, el valor eficaz de cualquier magnitud alterna es igual a su amplitud dividida por $\sqrt{2}$. [22]

A continuación, se muestra una tabla de voltajes eficaces, frecuencia, tipo de enchufe y corriente admitida de algunos países del mundo.

País	Voltaje (RMS) [V]	Frecuencia [Hz]	Tipo de enchufe	Corrientes admisibles
México	127	60	A,B	15 A / 20 A
España	230	50	C, E, F, L	10 A / 16 A
Estados Unidos	120	60	A,B	15 A / 20 A
Japón	100	50,60	A,B	15 A / 20 A

Tabla 2.1 Especificaciones eléctricas de algunos países del mundo. [23]

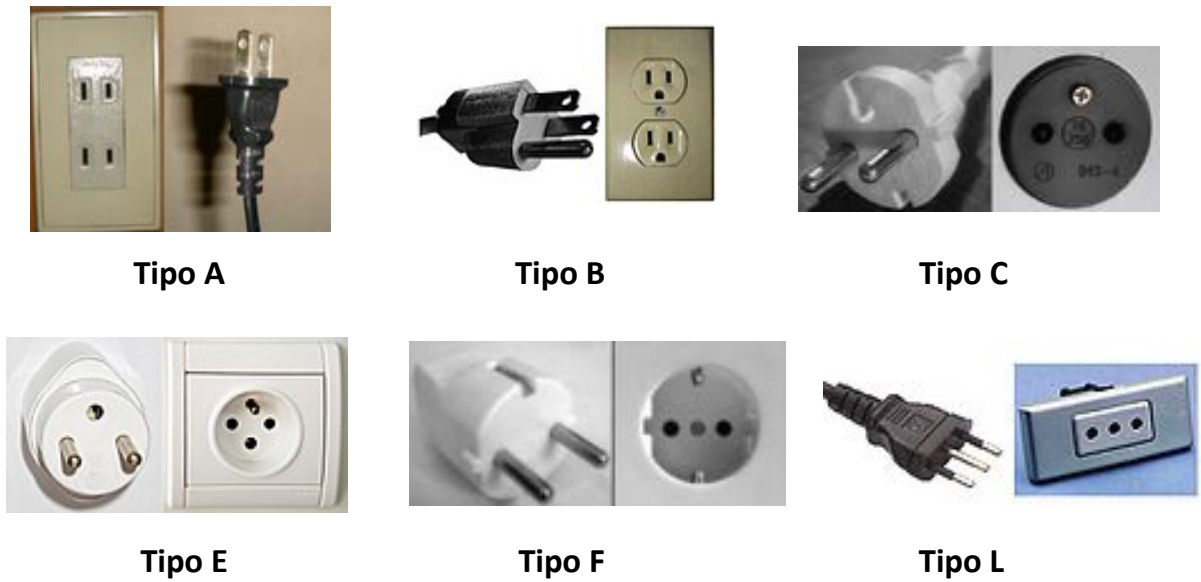


Figura 2.16 Tipos de enchufe de algunos países del mundo. [23]

Sistema monofásico

Un sistema monofásico es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única corriente alterna o fase y por lo tanto todo el voltaje varía de la misma forma. La distribución monofásica de la electricidad se suele usar cuando las cargas son principalmente de iluminación y de calefacción, y para pequeños motores eléctricos.

La corriente alterna que llega a nuestros hogares es monofásica. En corriente monofásica existe una única señal de corriente, que se transmite por el cable de fase (L, color marrón) y retorna por el cable de neutro que cierra el circuito (N, color azul). El cable de tierra es siempre verde. [24]

2.6 Control automático

El control automático ha desempeñado una función vital en el avance de la ingeniería y la ciencia, teniendo una gran importancia en diversos sistemas como vehículos espaciales, guiado de misiles, robots, etc. El control automático se ha vuelto una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura. Debido a que los avances en la teoría y la práctica del control automático aportan los medios para obtener un desempeño óptimo de los sistemas dinámicos, mejorar la productividad, aligerar la carga de muchas operaciones manuales repetitivas y rutinarias, así como de otras actividades, casi todos los ingenieros y científicos deben tener un buen conocimiento de este campo. [25]

Algunos conceptos son fundamentales para entender el estudio del control automático, como las siguientes definiciones. Según el libro de *Ingeniería de control moderna* de *Katsuhiko Ogata*: [25]

- **Variable controlada:** Es la cantidad o condición que se mide y controla.
- **Variable manipulada:** Es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.
- **Plantas:** Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular.
- **Procesos:** Un proceso es una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden uno al otro en una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinado.
- **Sistemas:** Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no necesariamente es físico, puede ser biológicos, económico, etc.
- **Perturbaciones:** Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, en tanto que una perturbación externa se produce fuera del sistema y es una entrada.

- **Control retroalimentado:** El control retroalimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia y lo continúa haciendo con base en esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, dado que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema.

Sistemas de control de lazo abierto (open loop) y lazo cerrado (close loop)

Un sistema de lazo abierto es aquél en el que la salida no afecta la acción de control, es decir, no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Este tipo de sistema de control es útil para aplicaciones simples, que se realicen por tiempos o eventos. Sin embargo, este tipo de sistema tiene la desventaja de que no corrige perturbaciones. [25]

Por otro lado, un sistema de lazo cerrado es aquel que tiene retroalimentación. El controlador se alimenta de la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. En comparación con el sistema de lazo abierto, el sistema de lazo cerrado, tiene la ventaja de tener mayor precisión y compensar las perturbaciones, pero tiene como desventaja que requiere de más elementos, lo cual incrementa el costo. [25]

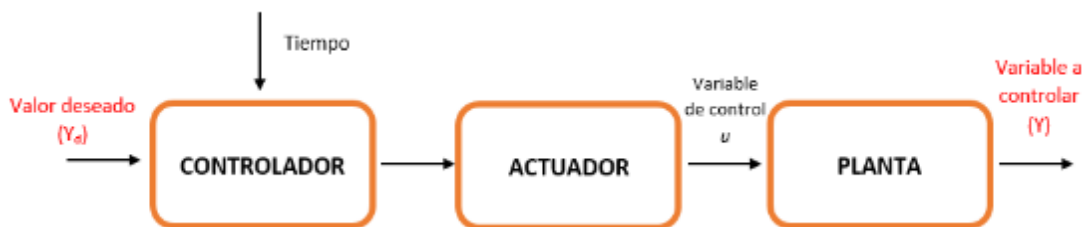


Figura 2.17 Sistema de control de lazo abierto.

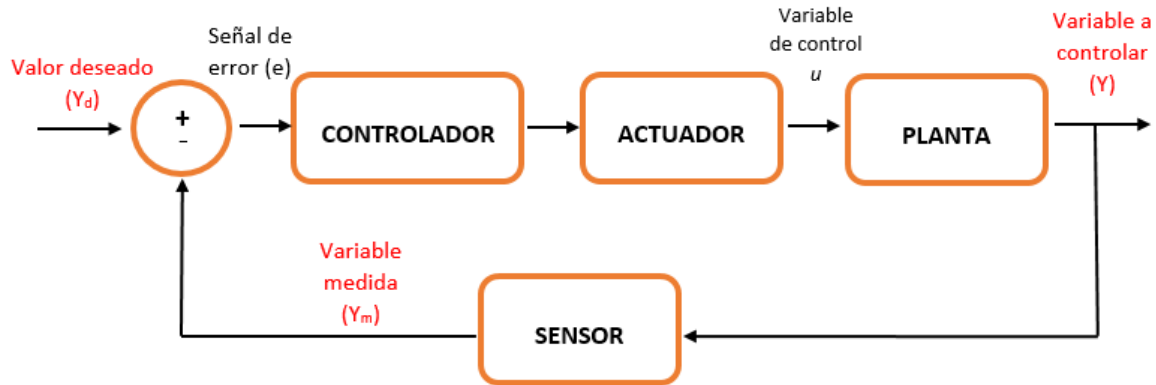


Figura 2.18 Sistema de control de lazo cerrado.

Controladores

La teoría de control automático, maneja ciertas acciones de control básicas, las cuales son utilizadas en controladores analógicos industriales. Los controladores industriales se clasifican, de acuerdo con sus acciones de control, como:

- De dos posiciones o de encendido y apagado (on/off).
- Proporcionales
- Integrales
- Proporcionales-Integrales
- Proporcionales-Derivativos
- Proporcionales-Integrales-Derivativos

Casi todos los controladores industriales emplean como fuente de energía la eléctrica o un fluido presurizado, tal como el aceite y el aire. Los controladores también pueden clasificarse, de acuerdo con el tipo de energía que utilizan en su operación, como neumático, hidráulicos o electrónicos. El tipo de controlador que se use debe decidirse con base en la naturaleza de la planta y las condiciones operacionales, incluyendo consideraciones tales como seguridad, costo, disponibilidad, confiabilidad, precisión, peso y tamaño. [25]

Control PID (Proporcional-Integral-Derivativo)

Los controladores PID son los más utilizados en la industria, ya que muestran ser robustos en muchas aplicaciones. Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y

derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID. [26]

- **Acción de control proporcional (P):** Da una salida del controlador que es proporcional al error, es decir: $u(t) = K_p \cdot e(t)$, y su función de transferencia es $H_p(s) = K_p$. Donde K_p es una ganancia proporcional ajustable. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitados y error en régimen permanente (off-set). [26]
- **Acción de control integral (I):** Da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento.

$$u(t) = K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau \quad H_i(s) = \frac{K_i}{s}$$

Donde K_i es una ganancia que ajusta la acción integral. La señal de control $u(t)$ tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error $e(t)$ es cero. Por lo que se concluye que dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero. [26]

- **Acción de control proporcional-integral (PI):** Se define mediante

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau \quad H_{PI}(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero. [26]

- **Acción de control proporcional-derivativa (PD):** Se define mediante:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad H_{PD}(s) = K_p + s \cdot K_d$$

Donde K_d es una ganancia que ajusta la acción derivativa. Esta acción tiene carácter de previsión, lo que hace más rápida la acción de control, aunque tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador. La acción derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que sólo es eficaz durante períodos transitorios.

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir, que responde a la velocidad del cambio de error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error en estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema, lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable. [26]

- **Acción de control proporcional-integral-derivativa (PID):** Esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales, lo cual lo hace un controlador más completo, es por eso que se utiliza mucho en la industria. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante: [26]

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de(t)}{dx}$$

$$H_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + s \cdot K_d$$

Capítulo 3. DESARROLLO

En este capítulo se presenta el desarrollo de la solución del problema planteado, el cual está compuesto de las siguientes tres etapas:

- I. Rediseño del circuito eléctrico y selección de componentes principales.
- II. Selección de elementos de seguridad, componentes secundarios y organización del cuadro eléctrico.
- III. Adquisición y construcción del nuevo sistema de alimentación.

A continuación, se muestra con detalle el desarrollo de cada una de estas etapas.

3.1 Rediseño del circuito eléctrico y selección de componentes principales.

Como se mencionó anteriormente, la configuración de las células Peltier sobre la estructura octagonal de la cámara era funcional, por lo que ésta se mantuvo. En la siguiente figura se muestra la configuración mencionada. En donde se puede observar que las ocho células están montadas sobre cuatro paredes, es decir, dos células por pared.

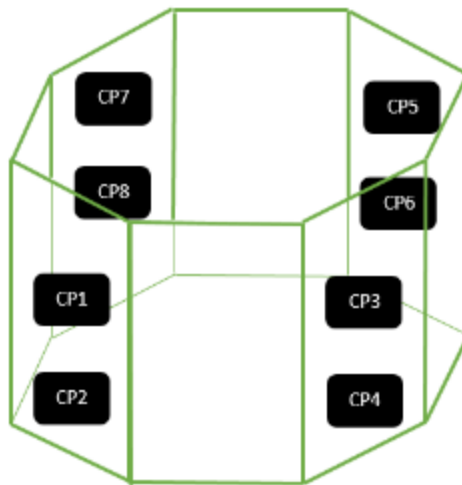


Figura 3.1 Configuración de células Peltier sobre estructura de la cámara.

En la figura 3.2 se muestra el esquema eléctrico del antiguo sistema de alimentación con el fin de ejemplificarlo, y visualizar mejor los cambios realizados.

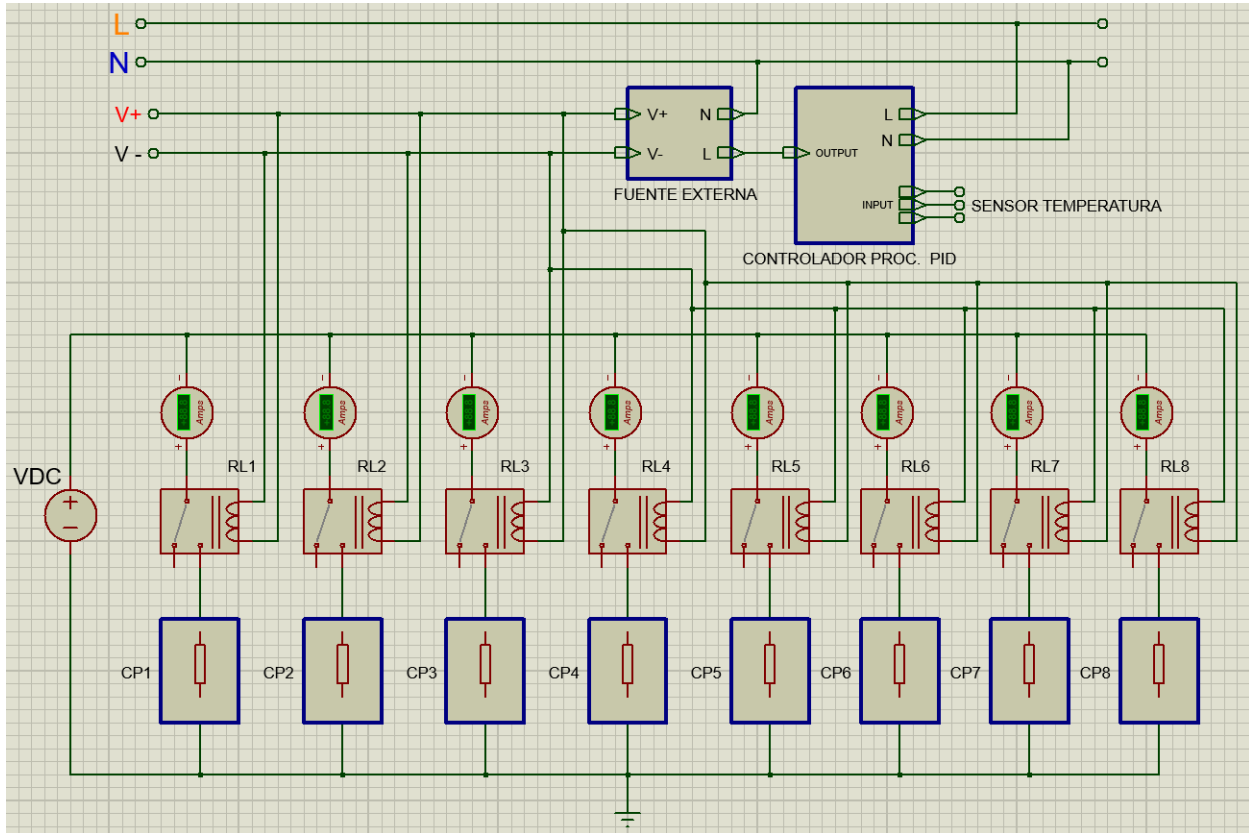


Figura 3.2 Esquema eléctrico del antiguo sistema de alimentación.

Describiendo el circuito de la figura anterior, se puede observar que se tiene ocho ramas principales, dentro de cada rama principal se encuentran tres dispositivos eléctricos: amperímetro analógico, relevador o relé y célula Peltier.

Cada célula Peltier (CP_i) tenía su propio relevador el cual conmuta el paso de la corriente para que ésta funcione, además de su amperímetro, para medir su corriente y verificar que cada célula Peltier esté demandando la corriente necesaria de operación. El controlador de proceso PID, se alimentaba de corriente alterna directamente del enchufe toma corriente. Este controlador tiene como variable de entrada la temperatura interna de la cámara climática, la cual se obtiene por medio de un sensor de temperatura, y manda su señal de salida hacia una fuente externa alimentándola y accionándola cuando esta señal esté en estado alto, y cuando esta fuente se acciona alimenta a su vez a los ocho relevadores.

La fuente de alimentación que proporcionaba energía a las ocho ramas principales, era una fuente de corriente continua (CD) de 15 [V] y 50 [A]. Por lo

que se tenía una conexión en paralelo de la fuente con las ocho ramas principales. Como se mencionó anteriormente, el problema radicaba en que existía un desbalance de energía en el circuito, es decir, que llegaba un punto en que cada rama principal demandaba diferente corriente, y llegaba un momento en que en alguna de las células Peltier circulaba una corriente mayor a su corriente máxima permitida. Además, el antiguo circuito carecía de elementos de seguridad contra accidentes por sobretensión o derivaciones. También, las células Peltier carecían de protección contra corrientes inversas, y el problema es que las células pueden presentar el efecto Seebeck, es decir, de una diferencia de temperatura producir un voltaje eléctrico y una corriente eléctrica, y esto podría producir una corriente inversa que representa una perturbación al circuito, ya que cambia el funcionamiento de las células, es decir, que operaban como generadores. Además, de que una corriente inversa puede invertir el efecto en el módulo, lo que significa que el lado caliente del módulo ahora enfría y viceversa.

Para la solución se analizó, que lo más conveniente es un circuito independiente para cada célula Peltier, con el fin de que cada célula instalada tenga su propia fuente de alimentación, y no se afecten unas con otras. A dicho circuito le llamamos circuito principal, el cual está compuesto por los siguientes componentes principales:

- Fuente de alimentación de CD.
- Relé de estado sólido.
- Diodo rectificador.
- Célula Peltier

Son ocho circuitos principales los que se necesitaron, uno por cada célula Peltier. Cabe mencionar, que cada circuito principal cuenta con su amperímetro analógico, pero éste no se considera como componente principal. En la siguiente figura se muestra el esquema de un circuito principal para mostrar su conexión.

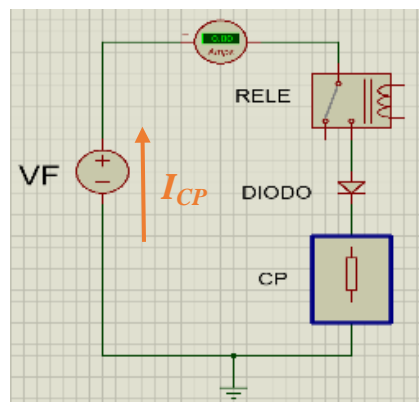


Figura 3.3 Circuito principal.

Una vez analizado y definido el circuito principal, se evaluaron e investigaron las especificaciones necesarias de cada componente, para finalmente hacer una selección. Se pretende colocar todo el sistema de alimentación dentro de un cuadro eléctrico, ya que esto permite una mejor distribución de los componentes utilizados y se evita el cableado caótico en el interior, lo cual facilita el mantenimiento y mejora la presentación. Por esta razón los componentes utilizados debían tener montaje tipo carril DIN, para poder organizarse y montarse dentro del cuadro eléctrico. A continuación, se muestra el proceso de evaluación y selección para cada componente principal.

3.1.1 Célula Peltier.

El módulo o célula Peltier es uno de los componentes más relevantes, ya que éste nos brinda la aplicación de enfriar o calentar el interior de la cámara. Por ello, el diseño del circuito está basado en sus especificaciones, que van de la mano con las características que se requieren en la cámara.

Por petición de los colaboradores de MAG SOAR, se buscaron nuevas células Peltier que tuvieran un salto térmico más amplio que los anteriormente utilizados, y que tuvieran un consumo no mayor de 6 [A]. Además, de que el área activa del módulo Peltier se ajustara a las dimensiones de la bomba Hydro Series H110i GT (40x40 mm).

Con base en los parámetros mencionados, se realizó una búsqueda en las tiendas recomendadas por la empresa MAG SOAR, las cuales son: *RS-ONLINE*, *MOUSER ELECTRONICS*.

Atributo	RS-ONLINE	MOUSER ELECTRONICS
	Valor	Valor
Referencia	490-1547	490-CP604395H
Capacidad de refrigeración máxima	58.6 W	55.6 W
Diferencia de temperatura máxima ($\Delta T_{m\acute{a}x}$)	+74 K	+77 K
Corriente máxima	6 A	6 A
Tensión máxima	15.7 V	15.7 V
Área activa	40 x 40 mm	40 x 40 mm
Fabricante	Adaptive	CUI Inc.
Precio	62,85 €	24,28 €

Tabla 3.1 Tabla comparativa de las células Peltier encontradas en cada tienda.

Al comparar dos diferentes módulos en dos tiendas diferentes, se llegó a la conclusión de que el Módulo Peltier con número **490-CP604395H** del fabricante **CUI Inc.** es la mejor opción, porque tiene un $\Delta T_{\text{máx}}$ más amplio, conservando las características eléctricas deseadas (corriente y tensión máxima), así como las dimensiones. Finalmente, el costo se reduce considerablemente, lo cual hace a la cámara más rentable. En la Figura 3.4 se muestra la apariencia física del componente.



Figura 3.4 Módulo o Célula Peltier. [27]

3.1.2 Diodo rectificador.

Este elemento eléctrico es para proteger a la célula Peltier contra corrientes inversas, ya que, si se invierte la polaridad de la célula Peltier, se invierte el efecto, es decir, que ahora la parte fría calienta, y la caliente enfría. Este efecto no sea deseado, es por eso la importancia del diodo.

El diodo tiene que satisfacer las siguientes características:

- Corriente continua, y que sea mayor que la de la célula Peltier ($I \geq 6$ [A]).
- Tensión inversa alta, para evitar que el diodo entre en conducción.
- Pueda colocarse en carril DIN.

A continuación, se muestra las especificaciones del diodo rectificador encontrado en la tienda MOUSER ELECTRONICS.

Atributo	MOUSER ELECTRONICS
	Valor
Referencia	VS-12F100M
Producto	Schottky Diodes
Montaje	Stud Mount
Corriente delantera máxima (I_{FM})	12 A
Corriente inversa máxima (I_{RM})	12 mA
Tensión inversa repetitiva máxima (V_{RRM})	1000 V
Caída de tensión delantera máxima (V_{FM})	1.26 V
Fabricante	Vishay
Precio	9,89 €

Tabla 3.2 *Tabla de especificaciones del Diodo.*

Se eligió el diodo **VS-12F100M** del fabricante **VISHAY**, este es un diodo rectificador tipo Schottky y de montaje Stud Mount. Este componente es útil ya que cumple con las especificaciones de tensión y corriente necesarias y por el tipo de montaje, éste puede acoplarse a un borne de paso de carril DIN. A continuación, se muestra la figura del componente.



Figura 3.5 *Diodo rectificador Schottky, Stud Mount. [28]*

3.1.3 Fuente de alimentación de CD.

Una vez seleccionado el módulo o célula Peltier a utilizar, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros para la selección de la fuente, que corresponden a las especificaciones del módulo:

$$V_{CP\ max} = 15.7 \text{ [V]}$$

$$I_{CP\ max} = 6 \text{ [A]}$$

Es importante considerar para la selección de las fuentes, que éstas se alimentarán del toma corriente o enchufe a 230 V AC, con un máximo de consumo de 16 A.

Sabiendo la tensión y corriente máxima del módulo de Peltier y el consumo del diodo, es posible determinar las especificaciones requeridas de la fuente de alimentación. Analizando la malla del circuito principal de la Figura 3.3, y sabiendo que el relé de estado sólido no presenta caída de tensión, entonces, por ley de voltajes de Kirchhoff, se tiene que:

$$V_F = V_d + V_{CP} \quad (1)$$

Donde:

V_F : Voltaje de la fuente de alimentación.

V_d : Caída de tensión del diodo.

V_{CP} : Caída de tensión de la célula Peltier.

Entonces, de las especificaciones requeridas del módulo o célula Peltier y del diodo:

$$V_{CP} = 15.7 \text{ [V]}$$

$$V_d = 1.26 \text{ [V]}$$

Sustituyendo en la ecuación (1)

$$V_F = 1.26 + 15.7 \text{ [V]}$$

$$V_F = 16.96 \text{ [V]}$$

Por lo tanto, para no superar la tensión máxima de la célula Peltier, se tiene que cumplir que:

$$V_{F \text{ MAX}} = 16.96 \text{ [V]}$$

Entonces, bastaría con una fuente de entre 14 [V] y 16 [V].

Sabiendo la tensión máxima de salida que se necesita para la fuente, ahora se analizará las condiciones de entrada, es decir, que la suma de las corrientes de las bobinas primarias de las fuentes, no supere los 16 A.

Como son ocho circuitos de célula Peltier se tiene que considerar la corriente de entrada consumida de cada fuente ($I_{F,IN}$), para después calcular la corriente total demandada (I_T), entonces se debe cumplir que:

$$I_T \geq 8 \cdot I_{F,IN}$$

Despejando $I_{F,IN}$, y sabiendo que $I_T = 16 \text{ A}$, entonces:

$$I_{F,IN} \leq \frac{1}{8} \cdot I_T$$

Por lo tanto:

$$I_{F,IN} \leq 2 \text{ [A]}$$

Con base en la tensión de salida máxima calculada, y la corriente de entrada demandada por cada fuente, se consultó en dos tiendas diferentes, fuentes con estas características eléctricas.

Atributo	RS-ONLINE	MOUSER ELECTRONICS
	Valor	Valor
Referencia	110-615	653-S8VM-15015CD
Tensión de entrada	85 – 230 V AC	100 – 240 V AC
Tensión de salida. (Voltaje de ajuste ± 20 %)	15 V DC	15 V DC
Corriente de salida	7 A	10 A
Corriente de entrada @200V AC	0.7 A	1 A
Potencia nominal	100 W	150 W
Montaje	Carril DIN	Carril DIN
Fabricante	Adaptive	Omron
Precio	239,62 €	186,97 €

Tabla 3.3 *Tabla comparativa de fuentes de CD en cada tienda.*

De la tabla 3.3, se puede observar que la fuente **S8VM-15015CD** del fabricante **Omron**, satisface las especificaciones deseadas, tanto de entrada como de salida. Además, pensando a futuro es conveniente tener una fuente que pueda soportar más amperaje por si se sustituye el módulo Peltier por otro que demande más corriente. Y finalmente el costo es menor comparada con la 110-615. En la siguiente figura se muestra la fuente como componente físico.



Figura 3.6 *Fuente de alimentación de DC, S8VM-15015CD. [29]*

3.1.4 Relé de estado sólido.

El relé será el encargado de conmutar el circuito principal, es decir, que éste se cierre o abra para permitir el paso de la corriente. Dicho elemento eléctrico estará normalmente abierto (NA), y se accionará por medio de una señal emitida por una fuente externa accionada por un controlador de proceso PID (EMKO ESM-4435) [30]. El controlador EMKO ESM-4435, ya había sido utilizado con el antiguo sistema de alimentación para la aplicación de la cámara climática, y éste se reutilizó para el nuevo sistema. Este controlador de proceso es ajustable a diferentes tipos de acciones de control, tales como: ON/OFF, P, PI, PD y PID. Para el caso de esta aplicación, se ajustó el controlador como tipo ON/OFF.

El funcionamiento del controlador con el relé es el siguiente. El controlador recibe una señal de entrada de un sensor de temperatura (T_s), y la compara con la temperatura ingresada por el usuario (T_{in}), que es la señal de referencia. Entonces, con las señales T_s y T_{in} , se genera una señal de error $e(T)$.

$$e(T) = T_{in} - T_s$$

Cuando la señal $e(T)$ sea mayor o igual que cero, el controlador EMKO ESM-4435 manda una señal en estado bajo, es decir, que el relé permanece en su estado normal (NA), en caso contrario que $e(T)$ sea menor que cero, el controlador emite una señal en estado alto, conmutando al relé y cerrando el circuito principal. En pocas palabras, cada que la temperatura interna de la cámara (T_s) sea más alta que la que el usuario desea (T_{in}), entonces se necesita enfriar la cámara, por lo que se acciona el controlador de proceso, y se cierra el circuito hasta igualar las temperaturas. Este proceso es posible ya que la parte fría de la célula Peltier está en contacto con las paredes de la cámara.

La bomba que rodea a la célula Peltier, perteneciente al sistema de refrigeración comercial Hydro Series H110i G, también juega un papel importante para la protección de las células Peltier. Ya que esta bomba proporciona a la célula una ventilación continua, ayudando a prevenir sobrecalentamiento sobre la célula. Además, como la bomba está en contacto con la parte caliente de la célula Peltier, y ésta cuenta con un sensor de temperatura, es posible supervisar la temperatura del lado caliente de la célula. Esto brinda información al usuario, y le permite visualizar los datos de temperatura de cada célula, con lo cual se puede evaluar el funcionamiento e incluso el rendimiento que tiene cada una. Cabe mencionar, que la bomba es ajena a los circuitos principales, ya que esta bomba comercial se conecta directamente de una toma corriente, y no se incluye dentro del cuadro eléctrico. Por tal razón, no se incluye su demanda de corriente en el análisis del circuito del cuadro eléctrico.

Cada circuito principal contará con su relé, pero todos los relés estarán controlados por la misma señal del controlador de proceso PID.

Las características que debe tener los relés son:

- Estado sólido (SSR).
- Corriente continua, y que sea mayor que la de la célula Peltier ($I \geq 6$ [A]).
- Carril DIN.
- Conmutación DC.

Se consideraron los siguientes componentes:

Atributo	MOUSER ELECTRONICS	MOUSER ELECTRONICS
	Valor	Valor
Referencia	558-DR06D12	528-861SSR115-DD
Voltaje de control	4 – 32 V DC	3.5 – 32 V DC
Voltaje de carga	1 - 60 V DC	3 - 50 V DC
Corriente de carga máxima	12 A	15 A
Corriente de entrada	9 – 11 mA	16 mA
Tipo de salida	SCR	MOSFET
Fabricante	Sensata	Schneider Electric
Precio	50,91 €	43,44 €

Tabla 3.4 Tabla comparativa de relés.

Se propone el siguiente dispositivo, el **528-861SSR115-DD** del fabricante **Schneider Electric**, ya que cumple con las condiciones de tensión y corriente del circuito. Además, de cumplir con las características antes mencionadas. A continuación, se muestra la figura del relé como componente físico.



Figura 3.7 Relé de estado sólido y carril DIN, 528-861SSR115-DD. [31]

La conmutación del relé se da cuando se alimenta su entrada de control con un voltaje dentro de su rango permitido (3.5 a 32 VDC). Si el voltaje en su entrada es menor que 3.5 V, este no conmutará.

3.1.5 Resumen de componentes seleccionados.

A continuación, se muestra una tabla de los componentes principales seleccionados, donde se especifica su cantidad y costo.





Célula o módulo Peltier		
<u>Modelo:</u> CP604395H	<u>Cantidad:</u> 8	
<u>No. Ref:</u> 923-6536	<u>Precio unitario:</u> 24,28 €	
<u>Tienda:</u> Mouser Electronics	<u>Precio total:</u> 194,24 €	
<u>Hoja técnica de especificaciones (Datasheet):</u> [32]		
Fuente de alimentación		
<u>Modelo:</u> S8VM-15015CD	<u>Cantidad:</u> 8	
<u>No. Ref:</u> 653- S8VM-15015CD	<u>Precio unitario:</u> 186,97 €	
<u>Tienda:</u> Mouser Electronics	<u>Precio total:</u> 1495,76 €	
<u>Hoja técnica de especificaciones (Datasheet):</u> [33]		
Relé de estado sólido		
<u>Modelo:</u> 861SSR115-DD	<u>Cantidad:</u> 8	
<u>No. Ref:</u> 528-861SSR115-DD	<u>Precio unitario:</u> 43,44 €	
<u>Tienda:</u> Mouser Electronics	<u>Precio total:</u> 347,52 €	
<u>Hoja técnica de especificaciones (Datasheet):</u> [34]		
Diodo rectificador		
<u>Modelo:</u> VS-12F100M	<u>Cantidad:</u> 8	
<u>No. Ref:</u> 78- VS-12F100M	<u>Precio unitario:</u> 9,89 €	
<u>Tienda:</u> Mouser Electronics	<u>Precio total:</u> 79,12 €	
<u>Hoja técnica de especificaciones (Datasheet):</u> [35]		

Tabla 3.5 Componentes principales seleccionados.

3.2 Selección de elementos de seguridad, componentes secundarios y organización del cuadro eléctrico.

3.2.1 Elementos de seguridad.

Debido a que se trabaja con una tensión de 230 VAC y corriente de 16 A, es necesario tener una buena seguridad. Es por eso que el sistema de alimentación de la cámara climática requiere de ciertos elementos, que eviten que se produzcan accidentes por descargas eléctricas, sobretensión, incendios, etc. A continuación, se mencionan los elementos de seguridad y sus especificaciones necesarias.

3.2.1.1 Interruptor diferencial (ID o RCCB).

La protección diferencial protege a los circuitos eléctricos contra las corrientes de defecto a tierra. Esta corriente de defecto (i_d) puede ser causada, por ejemplo, porque una persona accidentalmente toque algún conductor activo (contacto directo) que alimentan a la carga. Si i_d es mayor a la sensibilidad de la protección diferencial, ésta actuará abriendo el interruptor y así proteger a la persona del riesgo de electrocutarse. La protección diferencial protege también de electrocución cuando el contacto de una persona con una fase se produce de forma indirecta (contacto indirecto). [36]

Las características necesarias que debe cumplir el interruptor diferencial son:

- Corriente nominal de 16 A.
- Dos polos (cortar fase y neutro).
- Aplicación industrial (30 mA).
- Carril DIN.



Figura 3.8 Interruptor diferencial CDC748 Hager. [37]

3.2.1.2 Interruptor automático magnetotérmico.

Sirve para proteger los circuitos contra las sobreintensidades, es decir contra corrientes superiores a su valor asignado. Las sobreintensidades pueden ser sobrecargas o cortocircuitos. Cuando la protección magnetotérmica actúa manda abrir el interruptor que gobierna el circuito. En un interruptor automático la protección contra sobrecargas empieza a actuar en cuanto la intensidad supera a la asignada del interruptor y el tiempo que tarda en actuar es inversamente proporcional a dicha intensidad. [38]

Las características necesarias que debe cumplir el magnetotérmico son:

- Corriente nominal de 16 A.
- Dos polos (cortar fase y neutro).
- Aplicación industrial.
- Carril DIN.



Figura 3.9 Interruptor automático magnetotérmico MUN216A Hager. [39]

3.2.1.3 Cable industrial (Libre de halógenos)

El calibre del cable, y ciertas condiciones de aislamiento son fundamentales para garantizar el buen funcionamiento del circuito eléctrico, y minimizar accidentes.

El aislamiento del cable debe de ser libre de halógenos. Los halógenos son los elementos químicos que forman parte del grupo 17 de la tabla periódica, y consiste de los siguientes elementos: flúor, cloro, bromo, yodo, astato y teneso. Estos elementos tienen la característica de ser muy reactivos. Entonces, un aislamiento libre de halógenos tiene la ventaja de presentar resistencia al fuego y una excelente capacidad para no propagar el incendio. Por lo que este tipo de cable es el adecuado para hacer las conexiones de todo el circuito. [40]

Para el calibre del cable, como se tienen distintas corrientes es necesario utilizar diferentes calibres. Principalmente, son dos corrientes las que se manejan, de 16 A, que es la que entrega el toma corriente, y 10 A que es la máxima corriente que puede entregar la fuente de DC. Consultando las tablas de intensidades de corriente admisibles para conductores de cobre. Es conveniente usar cable con sección de 2.5 mm² o un calibre 13 AWG para las ramas donde circule 16 A (fase y neutro) y una sección de 1.5 mm² o un calibre 15 AWG para donde circule 10 A. [41]

3.2.1.4 Botón de paro de emergencia.

Como seguridad adicional, es conveniente tener un botón de paro de emergencia para desenergizar el sistema de alimentación, en caso de que se presente algún tipo de accidente o se requiera apagar el sistema por una emergencia. Para ello se contempla un pulsador Seta d. 40 TTR, modelo XB4BS8442 del fabricante Schneider Electric. Éste es un botón de paro normalmente cerrado, el cual tiene un mecanismo de giro para restablecer el estado normal del botón. [42]. El botón se montará en el panel del cuadro eléctrico, y el componente físico es como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.10 Pulsador seta XB4BS8442. [43]

3.2.2 Componentes secundarios

Los componentes secundarios son aquellos que complementan a los circuitos principales y a los elementos de seguridad. Es por eso que se hará mención de su función y las características que éstos tienen.

3.2.2.1 Fuente externa (Relés)

Además, del controlador de proceso PID (ESM-4435), el circuito de control de los relés necesita de una alimentación externa, de tal forma que se pueda hacer la conmutación. La conexión del circuito de control sin elementos de seguridad, es como la que se muestra en el siguiente esquemático eléctrico.

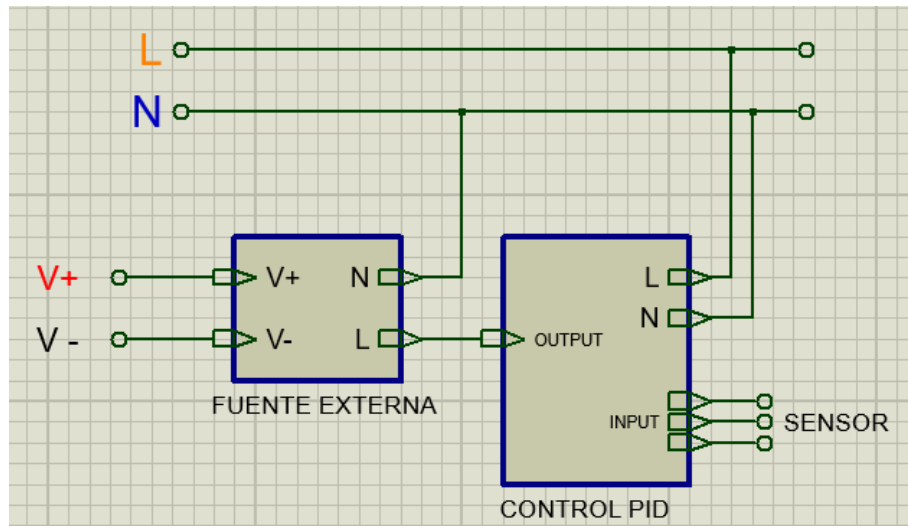


Figura 3.11 Circuito de control de los relés.

El voltaje de la señal de salida que entrega el controlador ESM-4435 es alterno, entonces éste será el que alimentará a la fuente externa. El voltaje de salida de la fuente externa debe estar dentro del rango de voltaje de control del relé, que es de 3.5 a 32 VDC. No es necesario una fuente con una gran corriente de salida, ya que el circuito de control del relé sólo se controla con voltaje. A continuación, se muestra la tabla de especificaciones de una fuente útil para esta aplicación.

Atributo	MOUSER ELECTRONICS
	Valor
Referencia	HDR-30-15
Tensión de entrada	85 – 264 V AC
Tensión de salida	15 V DC
Corriente de salida	2 A
Corriente de entrada @ 230 V AC	0.48 A
Potencia nominal	30 W
Fabricante	Mean Well
Precio	14,49 €

Tabla 3.6 Especificaciones de la fuente externa.

Al igual que los componentes anteriores, esta fuente tenía que ser de carril DIN, para poderse montar en el cuadro eléctrico. Se muestra el componente físico en la siguiente figura.



Figura 3.12 Fuente HDR-30-15 MEAN WELL. [44]

3.2.2.2 Amperímetro.

Para poder visualizar que las células Peltier estén trabajando correctamente, y detectar cuando exista alguna falla en alguna de dichas células, es conveniente mostrar el consumo de corriente que tiene cada célula durante su proceso de trabajo. Para ello se implementaron amperímetros analógicos, los cuales ya se utilizaban en el sistema de alimentación anterior de la cámara climática. Éstos amperímetros tienen que ser lo más visibles y notables para el operador de la cámara climática, es por eso que se colocaron en el panel del cuadro eléctrico, junto con los display de los controladores de proceso PID.



Figura 3.13 Amperímetro analógico. [45]

3.2.2.3 Bornes de paso.

Los bornes de paso son aquellos donde se conectarán los diodos stud mount y también se conectarán las señales de fase (L), neutro (N) y tierra (GND). Estos bornes de paso tienen que ser de carril DIN, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.14 Borne de paso de carril DIN. [46]

3.2.2.5 LED piloto.

De forma que sea visible que el sistema de alimentación de la cámara esté funcionando, es conveniente colocar en el panel del cuadro eléctrico un LED piloto que funcione como indicador de encendido o apagado. Dicho LED será de corriente alterna, y estará conectado a las señales de fase (L) y neutro (N) que ya cuentan con la protección del interruptor diferencial y del magnetotérmico. Entonces, cuando el LED se encuentre encendido es porque el sistema está alimentado correctamente, en caso contrario, quiere decir que algún elemento de seguridad se encuentra activado.



Figura 3.15 LED piloto 22MM 230 V VERDE. [47]

3.2.2.6 Enchufes de carril DIN.

Es conveniente agregar enchufes de carril DIN dentro del cuadro eléctrico, en caso de que sea necesario conectar algún dispositivo externo, como lámparas, taladros, etc. Para dar mantenimiento a la instalación. Los enchufes de carril DIN, con conexión tipo europeo son como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3.16 Enchufe de carril DIN. [48]

3.2.3 Circuito eléctrico del nuevo sistema de alimentación.

A continuación, se muestran imágenes para mostrar cómo quedó el circuito del nuevo sistema de alimentación.

En la figura 3.17, se muestra parte del circuito eléctrico con los elementos eléctricos que interactúan con la corriente alterna. Como se puede observar, los elementos de seguridad como el magnetotérmico y el interruptor diferencial se encuentran en serie o cascada, y éstos elementos cortan la fase (L) y el neutro (N) en caso de que exista alguna eventualidad indeseada o accidente. Sucede lo mismo con el botón de paro o emergencia, pero este elemento de seguridad sólo corta la fase (L), y sólo puede ser accionado por el operador de la cámara climática. Entonces, las señales L(+) y N(+), son las señales de fase y neutro respectivamente, que ya se encuentran protegidas.

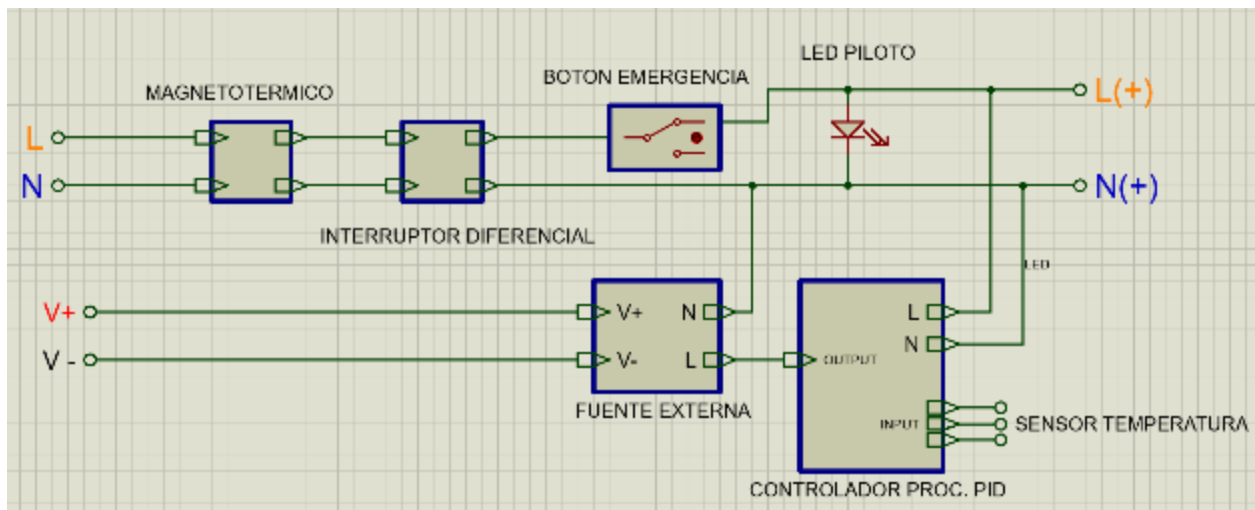


Figura 3.17 Elementos eléctricos que interactúan con corriente alterna.

Todos los dispositivos eléctricos que necesiten estar alimentados con corriente alterna estarán conectados a las señales L(+) y N(+), tales como: Controlador de proceso PID, Fuente externa de relevadores, LED piloto, las fuentes de CD de los circuitos principales y los enchufes de carril DIN.

Finalmente, el circuito eléctrico del nuevo sistema de alimentación quedó definido de la siguiente manera, como se muestra en la siguiente figura.

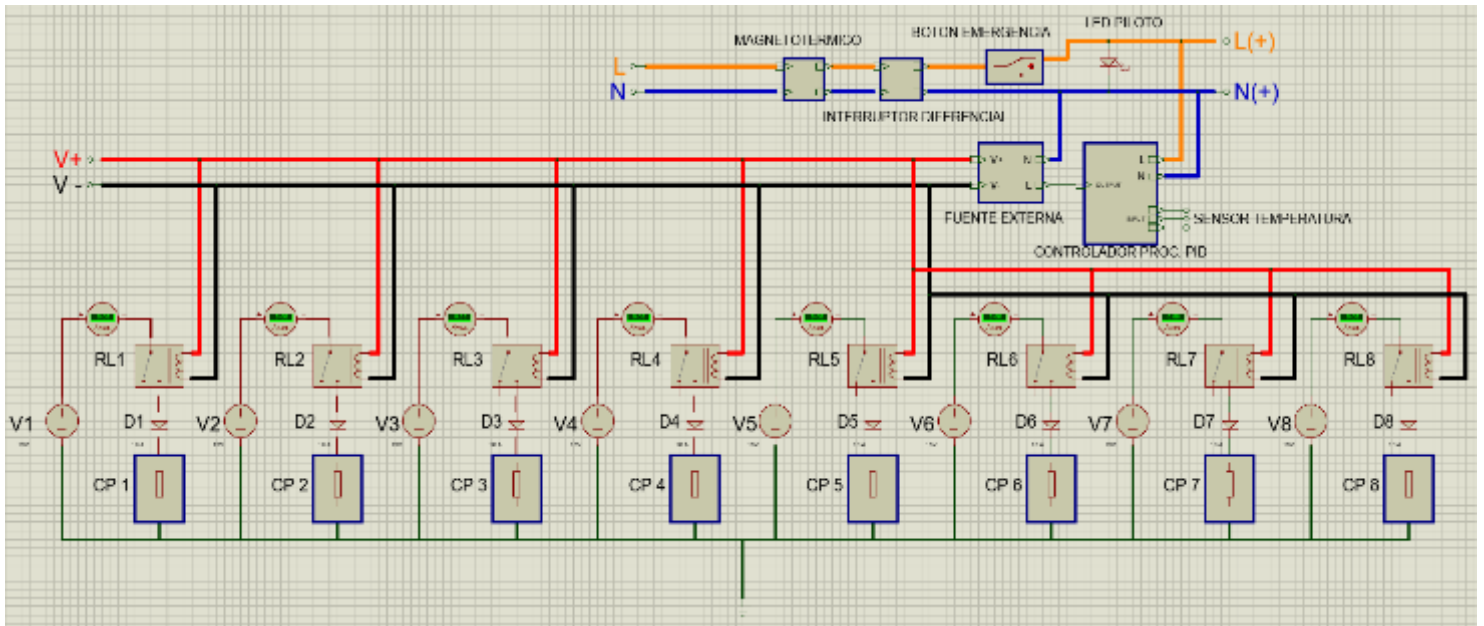


Figura 3.18 Esquema eléctrico del nuevo sistema de alimentación.

Como se puede observar de la figura 3.18, los ocho circuitos principales se encuentran ya en conjunto con el resto de los elementos eléctricos, tanto secundarios como de seguridad, conformando así el nuevo sistema de alimentación.

3.2.4 Organización del cuadro eléctrico

Ya definidos todos los componentes del sistema de alimentación, tanto componentes principales, componentes secundarios y elementos de seguridad, fue posible establecer la distribución de éstos en un cuadro eléctrico.

Un cuadro eléctrico también conocido como cuadro de distribución o armario eléctrico, es uno de los componentes principales de una instalación eléctrica, en él se protegen cada uno de los distintos circuitos en los que se divide la instalación a través de fusibles, protecciones magnetotérmicas y diferenciales. [49]

La superficie donde se colocan los componentes de la instalación, se llama plancha del cuadro eléctrico la cual es removible y montable, es decir, que se puede sacar o meter dentro del cuadro eléctrico, ya que su montaje es por medio de tornillos. Con las dimensiones de la plancha, se puede definir las dimensiones del cuadro. Y las dimensiones de la plancha dependen de la distribución de los componentes sobre la misma.

Como ya se había comentado anteriormente, todos los componentes se montaron sobre carriles DIN. Con base en la solicitud del equipo de trabajo de ingenieros de MAG SOAR, se decidió tener tres niveles de carril DIN dentro del cuadro, con el objetivo de poder identificar fácilmente los componentes y tener un mejor orden. Para hacer la distribución de componentes y con ello el dimensionamiento de la plancha y el cuadro eléctrico. Se decidió hacer uso de herramienta de software de diseño mecánico o diseño asistido por computadora (CAD), por sus siglas en inglés. Ya que esta herramienta ingenieril nos permite realizar modelos en 3D, y nos permite crear un modelo sólido y observar cómo se vería el prototipo en la realidad.

Para esta tarea del modelado en 3D, se realizó una búsqueda del CAD de los componentes a utilizar. Algunos fabricantes ofrecen los modelos 3D de sus componentes en sus páginas de internet. Aunque algunos no se encuentran disponibles en la red. Para el caso de estos últimos componentes, se crearon de forma manual, es decir, se dibujaron con base en las dimensiones mostradas en las hojas técnicas de dichos componentes. El software de CAD utilizado fue la versión estudiantil Solid Edge ST8, de la empresa SIEMENS. Se utilizó esta versión, ya que es libre para estudiantes y suficiente para el objetivo que se desea, que es el dimensionamiento y distribución de los componentes. Además, de los componentes del sistema de alimentación, también se dibujaron o crearon los modelos 3D de la plancha, los carriles DIN y canaletas. Las canaletas, son figuras prismáticas huecas, y son comerciales. Estas canaletas sirven para pasar los cables por su interior, con el objetivo de darles orientación y que no se encuentren esparcidos dentro del cuadro, esto ayuda a que el sistema se vea ordenado y ayuda a prevenir desconexiones accidentales.

A continuación, se muestran imágenes de las vistas del ensamble y modelo 3D generado.

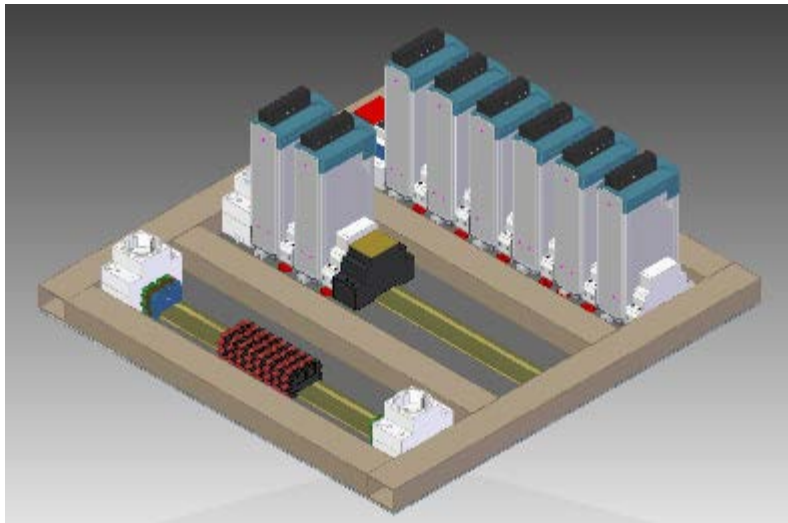


Figura 3.19 Vista isométrica del modelo 3D de la plancha.

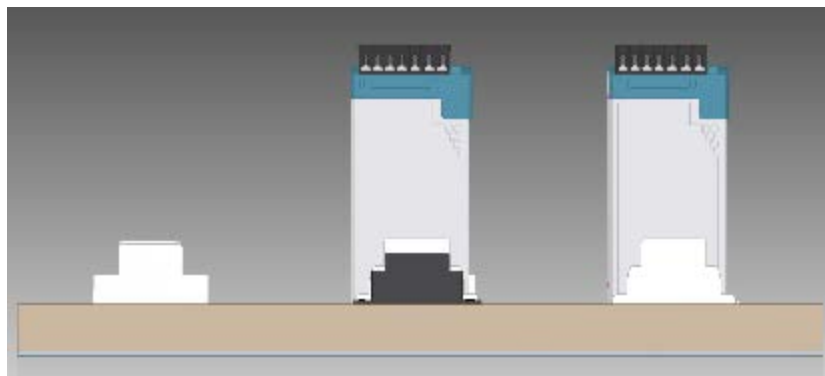


Figura 3.20 Vista de perfil del modelo 3D de la plancha.



Figura 3.21 Vista de alzado del modelo 3D de la plancha.

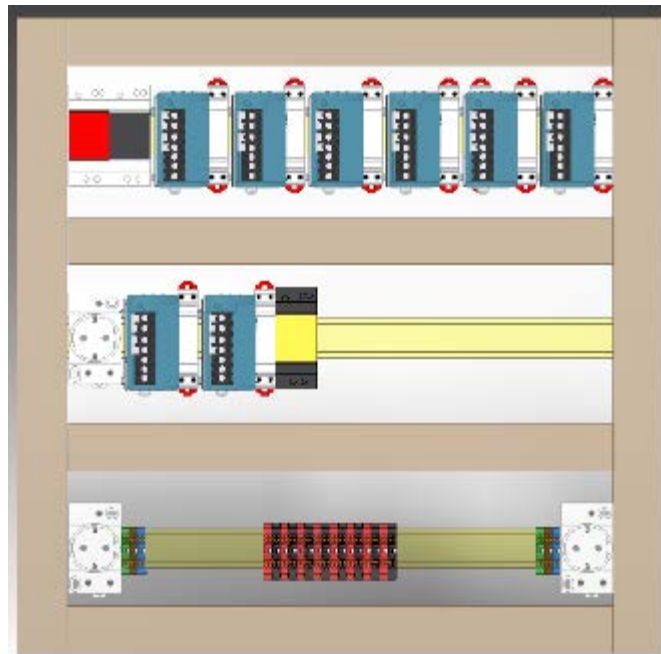


Figura 3.22 Vista superior o de planta del modelo 3D de la plancha.

De la figura 3.22, se puede observar la distribución de los componentes. Las barras color café son las canaletas, éstas rodean y limitan la plancha. También, se colocaron canaletas intermedias entre carriles DIN, con el objetivo de que puedan conectarse los componentes entre carriles en caso de que la conexión del circuito lo requiera. Como se mencionó antes, se hicieron tres niveles de carril DIN, donde el primer nivel corresponde al carril superior, y se pueden apreciar en la figura 3.22. Los componentes contenidos en cada carril son los siguientes, de izquierda a derecha:

- **Carril DIN 1:** Magnetotérmico (*MUN216A*); Interruptor diferencial (*CDC748*) y seis conjuntos de fuente de alimentación (*S8VM-15015CD*) con su relé de estado sólido (*528-861SSR115-DD*).
- **Carril DIN 2:** Toma enchufe tipo europeo; dos conjuntos de fuente de alimentación (*S8VM-15015CD*) con su relé de estado sólido (*528-861SSR115-DD*); fuente externa para relés (*HDR-30-15*).
- **Carril DIN 3:** Toma enchufe tipo europeo; tres bornes de paso (GDN, fase y neutro); dieciséis bornes de paso para colocar diodos y señales de las células Peltier (Rojo terminal positiva y negro terminal negativa de la célula Peltier); tres bornes de paso (GDN, fase y neutro); Toma enchufe tipo europeo.

También, se puede observar que existen espacios en el segundo y tercer carril. Estos espacios tienen un motivo. El espacio en el segundo carril, es para colocar un sistema de adquisición de datos, el cual se colocará a futuro. Esto por petición del grupo de ingenieros de la empresa MAG SOAR. Y los espacios del tercer nivel, es por si se requiere colocar algún componente adicional al sistema.

Como ya se tiene la distribución de componentes definida, es posible hacer el dimensionamiento, para ello simplemente se utilizó la herramienta del software para tomar las medidas deseadas, las cuales son las dimensiones de la plancha y la distancia de del componente más alto hasta la plancha (profundidad), esta dimensión nos da una idea de la profundidad que debe tener el cuadro eléctrico. Las dimensiones obtenidas fueron:

Dimensiones de la plancha: 54.7x56.5 [cm]

Profundidad: 19.84 [cm]

En las siguientes figuras, se muestran indicadas las dimensiones mencionadas anteriormente.

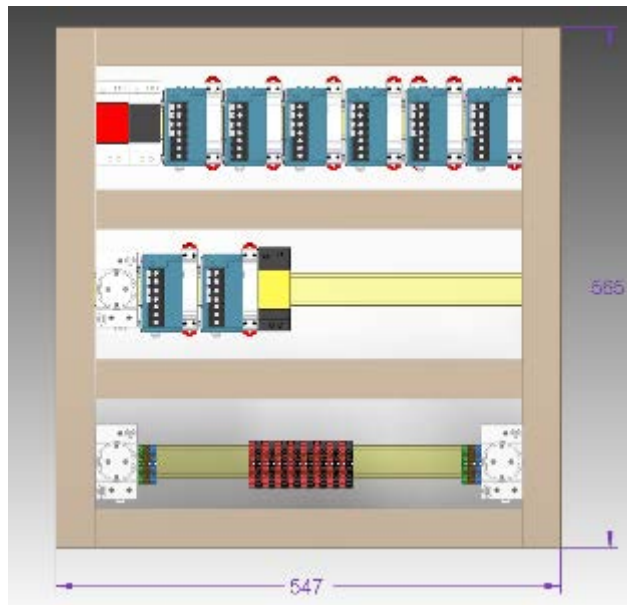


Figura 3.23 Dimensiones de la plancha en milímetros.

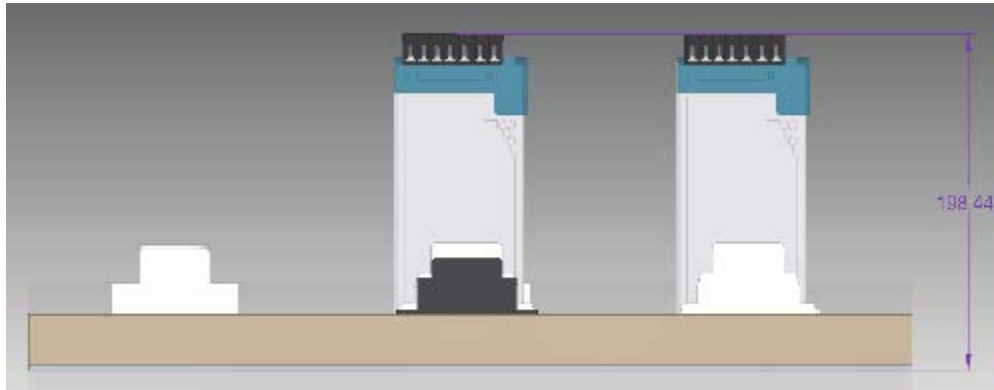


Figura 3.24 profundidad en milímetros.

Finalmente, con las dimensiones de la plancha y la profundidad, y contemplando que el sistema de adquisición del segundo carril puede ser algo robusto, se decidió que las dimensiones del cuadro eléctrico sean de 600x600x400.

3.3 Adquisición y construcción del nuevo sistema de alimentación.

Definidos todos los componentes del nuevo sistema de alimentación, y las dimensiones del cuadro eléctrico. Se realizó un proceso de cotización con diferentes almacenes eléctricos de España, con el objetivo de hallar la mejor oferta para reducir costos. Algunos componentes se adquirieron en las tiendas online y otros en un almacén eléctrico. Al final, la mejor opción fue adquirir ciertos componentes en Suministros Eléctricos BPV con sede en Valdemoro, Madrid [50]. A continuación, se muestra una tabla general de todos los componentes adquiridos.

COMPONENTE	ARTÍCULO	FABRICANTE	CANTIDAD	TIENDA	COSTO TOTAL[€]
Módulo Peltier	CP604395H	CUI Inc	8	MOUSER ELECTRONICS	194,24
Fuente de Alimentación	S8VM-15015CD	Omron	8	MOUSER ELECTRONICS	1.495,76
Relé	861SSR115-DD	Schneider Electric	8	MOUSER ELECTRONICS	347,52
Diodo	VS-12F100M	Vishay	8	MOUSER ELECTRONICS	212,96
Fuente de alimentación (Externa)	HDR-30-15	Mean Well	1	MOUSER ELECTRONICS	14,49
Interruptor diferencial	CDC748M	Hager	1	BPV	37,78
Magnetotérmico	MUN216A	Hager	1	BPV	15,39
Base Enchufe Tipo Europeo	SN016P	Hager	3	BPV	41,01
Botón de paro de emergencia	XB4BS8442	Schneider Electric	1	BPV	36,80
LED piloto	XB4BVM3	Schneider Electric	1	BPV	22,80
Borne de paso	1SNK510010R000	ABB-ENTRE	30	BPV	42,51
Cuadro eléctrico	MAS0606040R5 (600x600x400 mm)	ELDON	1	BPV	202,41

Tabla 3.7 *Tabla general de componentes adquiridos.*

Una vez adquiridos todos los componentes necesarios, se inició el proceso de construcción del nuevo sistema de alimentación.

La primera parte fue la manufactura del cuadro eléctrico. Comenzando por la plancha del cuadro, con base en la distribución de componentes planeada con el modelo 3D, se hizo el acomodo en físico de los componentes. Primero, se colocaron las canaletas y los carriles DIN, para después fijarlos mediante remaches a la plancha. En las siguientes figuras 3.25 y 3.26, se muestra este proceso de manufactura. Finalmente, ya montados y fijados los carriles DIN y las canaletas, se colocaron los componentes sobre los carriles, como se muestra en la figura 3.27.

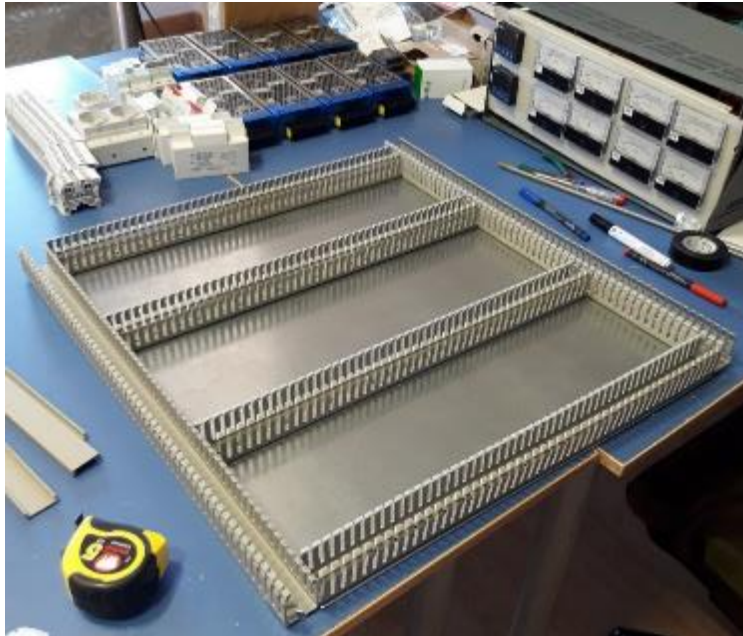


Figura 3.25 Colocación de las canaletas sobre la plancha.



Figura 3.26 Colocación de carriles DIN sobre la plancha.

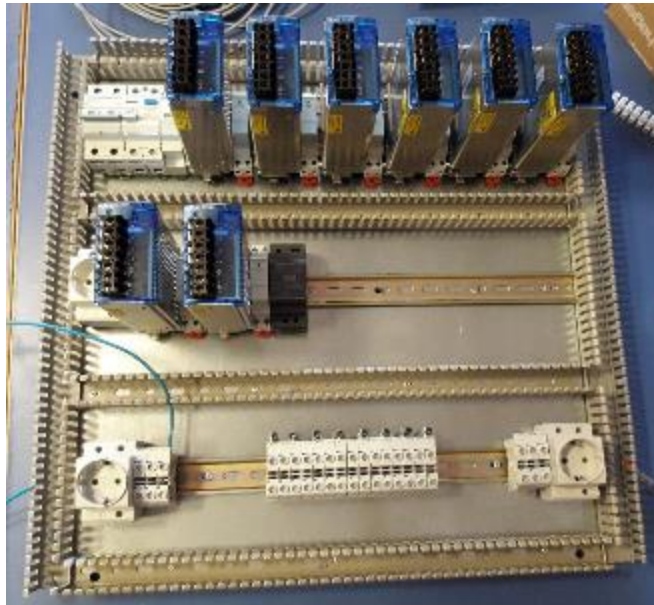


Figura 3.27 Colocación de carriles DIN sobre la plancha.

Después de la manufactura de la plancha, se realizó la manufactura del panel o parte frontal del cuadro eléctrico, que es la puerta del mismo. En la figura 3.28 se muestra el cuadro o armario eléctrico sin manufacturar.



Figura 3.28 Cuadro eléctrico sin manufacturar.

En el panel se colocaron los controladores de proceso PID, los ocho amperímetros, el botón de paro de emergencia y el LED piloto. Se procuró que los elementos se colocaran de forma simétrica para darle una mejor presentación al usuario. El montaje de estos elementos es por medio de tornillos, y se ensamblan de la parte externa del cuadro y se atornillan por la parte interna. Para ello, fue necesario hacer el agujero de cada componente de forma precisa, con el objetivo de que no quedara holgado o flojo el componente. El montaje del panel quedó de la siguiente manera:



Figura 3.29 Montaje de componentes en el panel (Puerta cerrada).



Figura 3.30 Panel del cuadro eléctrico (Puerta abierta).

Terminada la manufactura del cuadro eléctrico, se procedió a hacer la conexión del circuito eléctrico, siguiendo los esquemas eléctricos planteados en el diseño. Para facilitar el proceso de conexión, y para identificar qué tipo de señal pasa por cada cable o componente, se siguió el siguiente código de colores de cable.

SEÑAL	ABREVIATURA	COLOR
Fase	L	Marrón
Neutro	N	Azul
Tierra	GND	Verde
Señal intermedia	S1	Gris
Polo negativo Célula Peltier	S2	Negro

Tabla 3.8 Código de colores de las señales del circuito.

Con base en el código de colores, se procedió a hacer la conexión del circuito, iniciando por la plancha. En las siguientes figuras se muestra las conexiones.

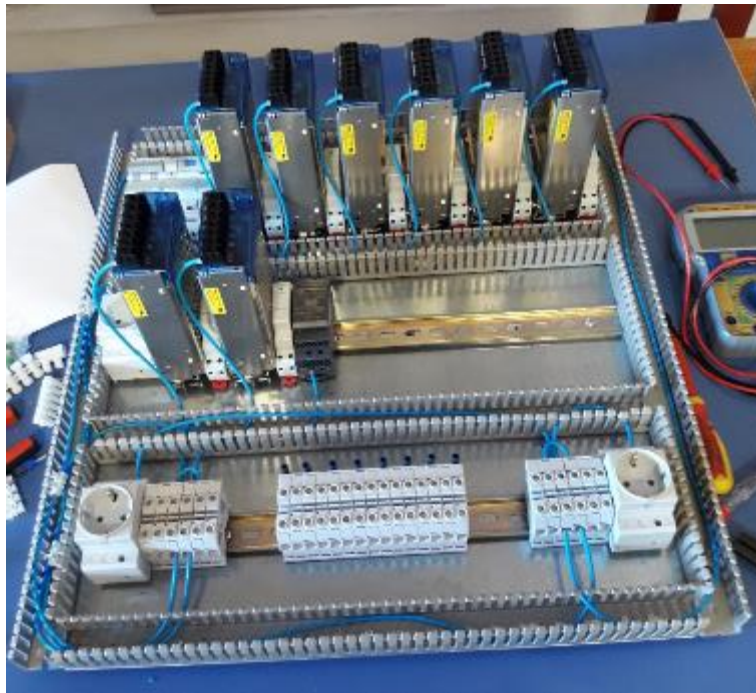


Figura 3.31 Conexión de la señal neutro (N).

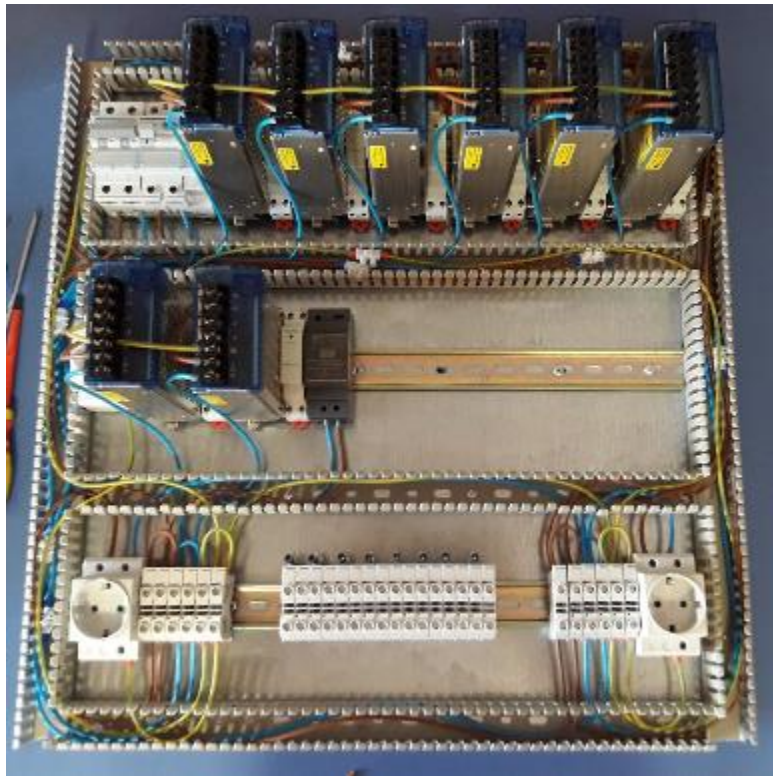


Figura 3.32 Conexión de las señales fase (L), neutro (N) y tierra (GND).



Figura 3.33 Conexión de todas las señales en la plancha.

Una vez terminada las conexiones correspondientes a la plancha, se introdujo ésta dentro del cuadro eléctrico, para montarla y fijarla, como se muestra en la figura 3.34 y 3.35, y poder conectar los elementos del panel con los componentes de la plancha.



Figura 3.34 Una primera vista de la plancha dentro del cuadro



Figura 3.35 Una segunda vista de la plancha dentro del cuadro eléctrico.

Para finalizar la construcción del nuevo sistema de alimentación, ya instalada la plancha dentro del cuadro eléctrico. Se efectuó la conexión antes de mencionada, de los elementos del panel con los de la plancha. Para conservar el orden de los cables que conectan el panel con la plancha, se hizo un bus de cables utilizando manguera espiral para mantener unido el bus, como se muestra en las figuras 3.36 y 3.37.



Figura 3.36 Una primera vista de la conexión de los componentes de la plancha con los elementos del panel.



Figura 3.37 Una segunda vista de la conexión de los componentes de la plancha con los elementos del panel.

Una vez terminada la conexión de los elementos del panel con los de la plancha, el sistema quedó listo para conectarse con las células Peltier que estarán instaladas en la estructura de la cámara climática.



Figura 3.38 Sistema de alimentación terminado, dentro del cuadro eléctrico.

Para el montaje de las células Peltier, se utilizó una pasta térmica, Thermal compound M4, para incrementar la conducción de calor [51]. Se colocó dicha pasta, tanto en ambos lados de la célula Peltier, como en los lugares donde hace contacto los lados la célula, es decir, en el lado de la bomba y en la pared de la estructura de la cámara. Esto permite que el contacto térmico mejore entre las superficies, y en consecuencia un mejor funcionamiento de la cámara climática. Como se puede observar en la figura 3.39, se desmontó la bomba para sustituir las antiguas células Peltier, por las nuevas. Y aprovechando este desmontaje, se colocó uniformemente la pasta térmica sobre las superficies antes mencionadas.



Figura 3.39 Desmontaje de la bomba para cambiar las células Peltier.

Una vez instaladas y montadas las células Peltier sobre la estructura de la cámara, quedaron listas para conectarse con el nuevo sistema de alimentación.

Capítulo 4. RESULTADOS

Se obtuvieron muy buenos resultados en cuanto al rediseño del nuevo sistema de alimentación, ya que este nuevo sistema creado resolvió el problema de descompensación de energía que se presentaba con el antiguo, debido a que ahora cada célula Peltier cuenta con su circuito independiente, y a la vez todo el circuito está en conjunto dentro de un mismo cuadro eléctrico con elementos de seguridad que cumplen con la norma española UNE-EN 60898-1 *Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobrecargas*, elaborada por el comité CTN 201/SC 23E – INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS Y APARATURA SIMILAR PARA USO DOMÉSTICO Y APLICACIONES ANÁLOGAS. [52] Esto hizo al nuevo sistema de alimentación y a la cámara climática más confiable de utilizar, ya que ahora es capaz de reaccionar ante fallas por cortos circuitos, y accidentes por contacto directo o indirecto.

Además de la construcción, se realizó una simulación del circuito mediante software. Sabiendo que el controlador de proceso PID opera como tipo ON/OFF, se simuló su funcionamiento con un Logic Toggle, el cual activa a la fuente externa que conmuta a los relés. En la siguiente figura, se muestra el circuito eléctrico simulado, donde se colocaron voltímetros para medir el voltaje de la fuente externa y el Logic Toggle a un costado del controlador de proceso PID.

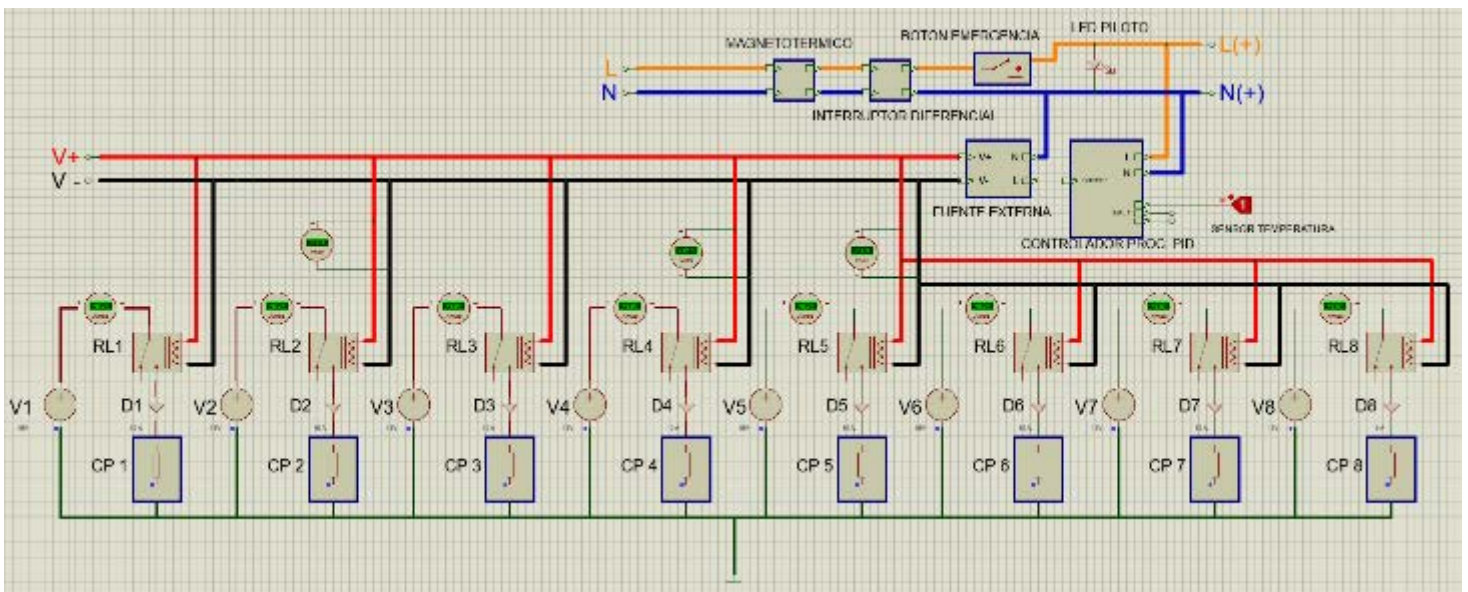
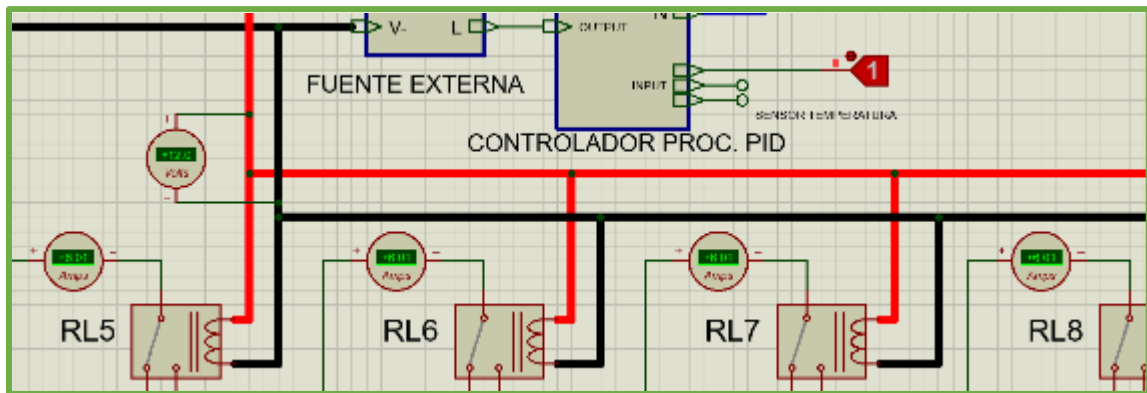
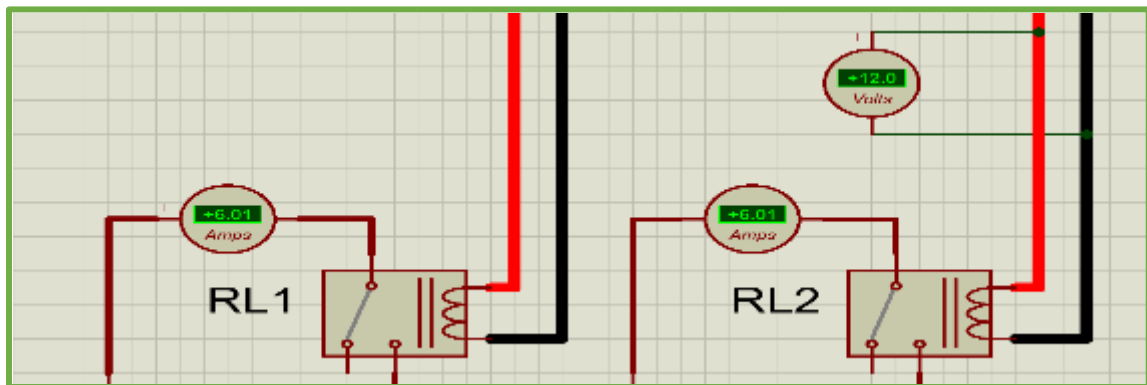


Figura 4.1 Circuito eléctrico del nuevo sistema de alimentación, simulado en PROTEUS.

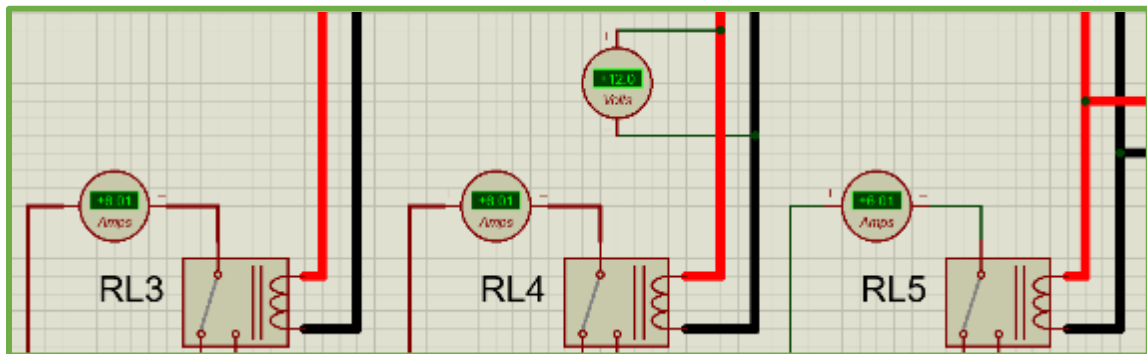
En la figura 4.2 se observan 3 secciones del circuito que muestran el funcionamiento del mismo. Cuando el controlador se encuentra en modo ON (Logic Toggle en estado alto) la fuente externa se alimenta y conmuta a los relés, cerrando y permitiendo el paso de la corriente de los circuitos principales. La corriente de cada circuito principal es la demandada por su célula Peltier correspondiente, de alrededor de 6 [A] que es lo deseado. Además, los voltímetros colocados sobre las señales V+ y V- de la fuente externa, muestran un valor 12 [V] lo cual valida que existe una diferencia de potencial entre estos puntos.



a) Primera sección del circuito.



b) Segunda sección del circuito.



c) Tercera sección del circuito.

Figura 4.2 Simulación del circuito con el controlador modo ON.

Por otro lado, cuando el controlador opera en modo OFF, la fuente externa se deja de alimentar, por lo que los relés regresan a su estado inicial sin alimentación (NA), y en consecuencia no hay corriente eléctrica circulando en los circuitos principales.

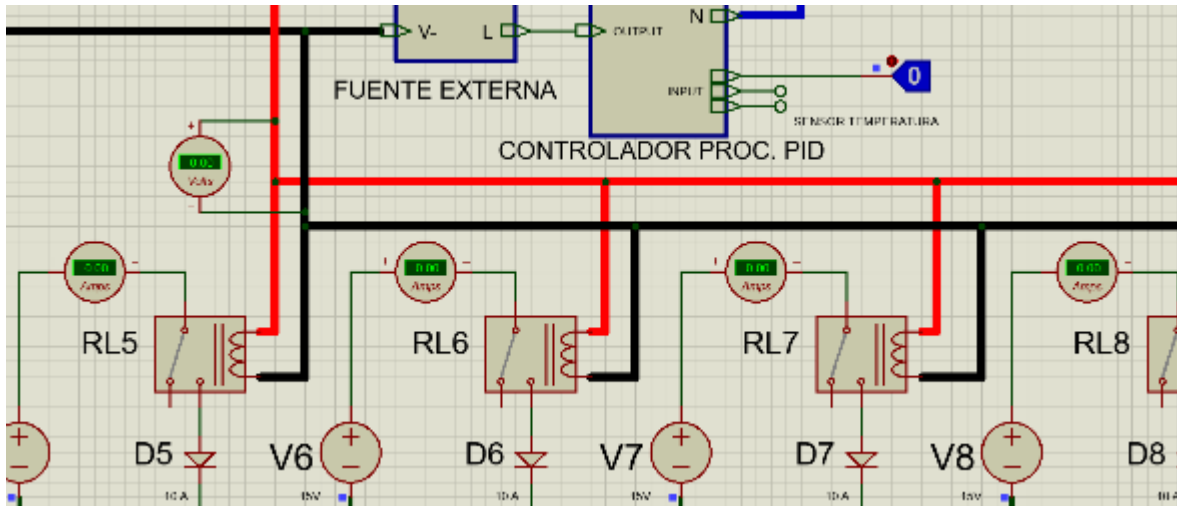


Figura 4.3 Simulación del circuito con el controlador modo OFF.

En cuanto a la instalación de la cámara, se logró hacer un ordenamiento de todos los cables mejorando la apariencia, esto ayudó a que la cámara climática sea más sencilla de manipular y evitar desconexiones accidentales. En las figuras 4.4 y 4.5 se muestra cómo estaba la apariencia de la cámara, y en la figura 4.6 y 4.7 se muestra el trabajo de ordenamiento mencionado.



Figura 4.4 Vista 1 de la cámara climática antes de ser ordenada.



Figura 4.5 Vista 2 de la cámara climática antes de ser ordenada.



Figura 4.6 Vista 1 de la cámara climática ordenada.



Figura 4.7 Vista 2 de la cámara climática ordenada.

Finalmente, en la figura 4.5 se muestra una fotografía de la apariencia del nuevo sistema de alimentación construido. Cabe resaltar, que el usuario quedó muy satisfecho por la presentación y el trabajo realizado en tan poco tiempo.



Figura 4.5 Apariencia del nuevo sistema de alimentación finalizado.

Capítulo 5. CONCLUSIONES

El gran problema de descompensación o desbalance de energía de las células Peltier, no solo representaba fallos en los ensayos experimentales, también representaba un problema económico para el usuario, ya que el estar adquiriendo repuestos de las células Peltier dañadas, generaba un alto costo, por lo que hacía a la cámara climática poco rentable. Es por ello la importancia de resolver dicho problema.

Como se mostró en el desarrollo y en los resultados, fue posible corregir el problema planteado, rediseñando y construyendo un sistema de alimentación que atendiera las necesidades del usuario. La mejor opción fue la elaboración de circuitos independientes para cada célula Peltier, es decir, que cada una tenga su propia fuente de alimentación, y no que todas dependan de una sola. Esto solucionó el problema de desbalance entre células Peltier.

Fue necesario añadir un diodo rectificador al circuito, ya que la principal tarea es proteger y garantizar un buen funcionamiento de la célula Peltier. Al añadir dicho elemento eléctrico, se evita que existan corrientes inversas, que puedan modificar el funcionamiento de la célula Peltier, es decir, tener un efecto inverso al efecto Peltier, lo cual no se desea para la aplicación de la cámara climática.

La presentación del nuevo sistema de alimentación construido fue dentro de un cuadro eléctrico, esto representó ventajas comparado con el sistema de alimentación antiguo como un mejor manejo, ordenamiento e identificación de componentes. Además, de que se colocaron elementos de seguridad contra sobrecargas y cortos circuitos, esto hizo al nuevo sistema de alimentación más inteligente, eficiente y confiable para el usuario u operador. También, se logró un ordenamiento de la instalación de la cámara climática, ordenando los cables y dándoles dirección, evitando que estuvieran sueltos y pudieran desconectarse por accidente.

Además, de un análisis ingenieril eléctrico y electrónico, también se realizó un proceso cauteloso de costos, evaluando cada componente seleccionado y buscando alternativas para reducir lo más posible los costos sin poner en riesgo la seguridad de los usuarios, así como cotizaciones con varias tiendas y almacenes eléctricos, y buscar la mejor oferta. Esta fue una actividad vital para el proyecto realizado.

Cabe resaltar que este trabajo, además de académico tuvo un contacto industrial, por lo que se aprendieron técnicas de trabajo con un equipo profesional, y técnicas para negociar con clientes, y ver diferentes posibilidades de mercado.

Se concluye que el proyecto realizado cumplió con todos los objetivos planteados que eran las necesidades que tenía el usuario, y se logró un trabajo de calidad en tan poco tiempo, además de que el usuario quedó satisfecho con los resultados obtenidos. A futuro puede tener mejoraras la cámara climática, por ejemplo, añadir células Peltier más potentes en caso de que los ensayos lo requieran, y es posible hacerlo, ya que la corriente eléctrica de las fuentes de alimentación tiene un rango de hasta 10 [A], debido a que se pensó en este detalle a futuro. También, colocar un sistema de ventilación dentro del sistema de alimentación podría ser de utilidad para el caso de jornadas largas de trabajo de la cámara climática.

ANEXOS

Anexo A. Carta de aceptación de la estancia de investigación



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Y TRANSFERENCIA
Plaza de San Diego, s/n
28801 Alcalá de Henares (Madrid)
☎ +34 91 885 40 43
vicer.investigacion@uah.es

El Vicerrector de Investigación y Transferencia de la Universidad de Alcalá, autoriza a D. Julio César Saavedra González, estudiante de Ingeniería Mecatrónica, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), para realizar una estancia de investigación del 17 de septiembre al 31 de octubre de 2018, en el Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, tras ser aprobada dicha estancia por el profesor que la acoge el Dr. José Luis Pérez Díaz y el director del Departamento.

El objetivo de la estancia es realizar trabajos de investigación en las áreas de Automatización industrial, Control Automático, Electrónica e Instrumentación.

La Universidad de Alcalá no cubre ningún gasto derivado de dicha estancia, siendo obligatorio que el interesado suscriba una póliza de accidentes durante dicho período.

Alcalá de Henares, 13 de abril de 2018

El Vicerrector,

(Resolución del Rector UAH de 19 de marzo de 2018.
Competencias delegadas por Resolución del Rector UAH de
19 de marzo de 2018, BOCM nº 75, de 28 de marzo de 2018)




F. Javier de la Mata de la Mata.

Anexo B. Carta de finalización de la estancia de investigación



José Luis Pérez Díaz
Catedrático de Universidad
Escuela Politécnica Superior
Universidad de Alcalá. Campus externo A-2 km 33,600
28803 Alcalá de Henares. España

A quien pueda interesar:

D. Julio Saavedra ha realizado bajo mi supervisión una estancia en la Universidad de Alcalá desde el 17 de septiembre al 31 de octubre de 2018 participando en el diseño y montaje de una cámara climática para la realización de ensayos reológicos a temperatura y humedad controladas.

Julio ha colaborado de forma muy constructiva con el equipo de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alcalá y con los ingenieros de desarrollo de MAGSOAR que colaboran en dicho proyecto.

Julio ha cumplido satisfactoriamente los objetivos señalados diseñando, seleccionando componentes, gestionando su adquisición y montándolos correctamente haciendo que el dispositivo de gestión de Peltiers para control de temperatura funcione adecuadamente.

Julio ha demostrado ser además de buen trato, capaz de trabajar en equipo y cumplidor.

Alcalá de Henares, a 31 de octubre de 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "José Luis Pérez Díaz", written over a horizontal line.

José Luis Pérez Díaz

BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA

Bibliografía

[13] Aranda, D. (2014). *Electrónica: plataformas Arduino y Raspberry Pi*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Editorial Fox Andina.

Mesografía

[1] Mpcontrol.es, Definición de cámara climática, [Página web en línea], México, [citado 10/02/2019], disponible en internet: <http://www.mpcontrol.es/index.php/definicion-camara-climatica/>

[2] Rowe, D. M. (2006). *Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano*. Consultado en diciembre 26, 2018. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?id=0iwERQe5IKQC&pg=SA11-PA1&hl=es&source=gbp_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false

[3] Mundodigital, Efecto Peltier. [Página web en línea], México, [citado 26/12/2018], disponible en internet: <http://www.mundodigital.net/que-es-el-efecto-peltier/>

[4] Pérez, J., & Álvarez, M., & Sánchez, J. & Jiménez, S. (2015). *Ice Surface Entropy Induction by Humidity or How Humidity Prompts Freezing*. Consultado diciembre 29, 2018. Recuperado de: <https://arxiv.org/abs/1509.06728>

[5] DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, AUTOMÁTICA E INFORMÁTICA INDUSTRIAL. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. *Control de una célula Peltier*. [Página web en línea], México, [citado 3/01/2019], disponible en internet: http://www.elai.upm.es/moodle/pluginfile.php/1834/mod_resource/content/0/laboratorio/Pract4RA_Peltierv1.pdf

[6] Feriadelasciencias.unam.mx, Efecto Peltier, [Página web en línea], México, [citado 3/01/2019], disponible en internet: https://feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria382_01_efecto_seebec_y_peltier.pdf

[7] ITESO, UNIVERSIDAD JESUITA EN GUADALAJARA. (2001). *Efecto Peltier*. [Página web en línea], México, [citado 3/01/2019], disponible en internet: <http://descargas.cetronic.es/EstudioPeltier.pdf>

[8] Nergiza.com, Célula Peltier, [Página web en línea], México, [citado 3/01/2019], disponible en internet: <https://nergiza.com/como-hacer-un-aire-acondicionado-casero-con-una-celula-de-peltier/>

[9] Ocw.usul.es, Fuentes de alimentación, [Página web en línea], México, [citado 3/01/2019], disponible en internet: http://ocw.usal.es/enseanzas-tecnicas/electronica/contenido/electronica/Tema4_Falimentac.pdf

[10] Profesores.fi-b.unam.mx, Fuentes de alimentación, [Página web en línea], México, [citado 3/01/2019], disponible en internet: http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/fuentes_CD.pdf

- [11] Wikipedia.org, Fuentes de alimentación, [Página web en línea], México, [citado 4/01/2019], disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_de_alimentaci%C3%B3n
- [12] Zonamaker.com, Imágenes de circuito de fuentes de alimentación, [Página web en línea], México, [citado 4/01/2019], disponible en internet: <https://www.zonamaker.com/electronica/intro-electronica/instrumentacion/fuente-de-alimentacion>
- [14] Areatecnologia.com, Relevadores, [Página web en línea], México, [citado 4/01/2019], disponible en internet: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/rele.html>
- [15] Plantea.pntic.mec.es, Funcionamiento relé, [Página web en línea], México, [citado 4/01/2019], disponible en internet: <http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>
- [16] Wikipedia.org, Tipos de relé, [Página web en línea], México, [citado 4/01/2019], disponible en internet: <https://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>
- [17] Wikipedia.org, Relé estado sólido, [Página web en línea], México, [citado 4/01/2019], disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9_de_estado_s%C3%B3lido
- [18] Hernández, J.M.F. *APUNTES DE DISPOSITIVOS Y CIRCUITOS ELECTRÓNICOS: DIODO Y TRANSISTOR TBJ. UNAM.* [Página web en línea], México, [citado 4/01/2019], disponible en internet: http://profesores.fi-b.unam.mx/jesmafco/apuntes/aa/Clase_Dispositivos.pdf
- [19] Uv.es, Diodo, [Página web en línea], México, [citado 5/01/2019], disponible en internet: https://www.uv.es/~esanchis/cef/pdf/Temas/A_T1.pdf
- [20] Learningaboutelectronics.com, Diodo rectificador, [Página web en línea], México, [citado 5/01/2019], disponible en internet: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Diodo-ideal.php>
- [21] Wikipedia.org, Diodo Zener, [Página web en línea], México, [citado 5/01/2019], disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Diodo_Zener
- [22] Informatica.uv.es, Corriente alterna, [Página web en línea], México, [citado 5/01/2019], disponible en internet: <http://informatica.uv.es/iiguia/INS/material/inst05.pdf>
- [23] Wikipedia.org, Tipos de enchufes, [Página web en línea], México, [citado 6/01/2019], disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Enchufes,_voltajes_y_frecuencias_por_pa%C3%ADs
- [24] Wikipedia.org, Sistema monofásico, [Página web en línea], México, [citado 6/01/2019], disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_monof%C3%A1sico
- [25] Ogata, K. (1998). *Ingeniería de control moderna.* UNIVERSITY OF MINNESOTA, Editorial Pearson. Consultado enero 7, 2019. Recuperado de: http://www.matcuer.unam.mx/~victor/Sistemas/ingenieria_de_control_moderna.pdf

- [26] Mazzone, V. (2002). *Controladores PID*. Universidad Nacional de Quilmes. [Página web en línea], México, [citado 7/01/2019], disponible en internet: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>
- [27] Mouser.es, Célula Peltier, [Página web en línea], México, [citado 9/01/2019], disponible en internet: <https://bit.ly/2xJ02Da>
- [28] Mouser.es, Diodo Schottky, [Página web en línea], México, [citado 9/01/2019], disponible en internet: <https://bit.ly/2yqOEwl>
- [29] Mouser.es, Fuente OMRON S8VM, [Página web en línea], México, [citado 9/01/2019], disponible en internet: <https://bit.ly/2xT85y8>
- [30] Emloelektronik.com.tr, Controlador de proceso PID, Mouser.es, Célula Peltier, [Página web en línea], México, [citado 9/01/2019], disponible en internet: <http://www.emkoelektronik.com.tr/en/products/esm-4435>
- [31] Mouser.es, Relé estado sólido, [Página web en línea], México, [citado 9/01/2019], disponible en internet: <https://bit.ly/2QZnIQm>
- [32] Mouser.es, Hoja técnica CP60H, [Página web en línea], México, [citado 10/01/2019], disponible en internet: <https://www.mouser.es/datasheet/2/670/cp60h-1310464.pdf>
- [33] Mouser.es, Hoja técnica OMRON S8VM, [Página web en línea], México, [citado 10/01/2019], disponible en internet: https://www.mouser.es/datasheet/2/307/Omron_S8VM-1190145.pdf
- [34] Mouser.es, Hoja técnica 861SSR115-DD, [Página web en línea], México, [citado 10/01/2019], disponible en internet: https://www.mouser.es/datasheet/2/357/105A_861-13653.pdf
- [35] Mouser.es, Hoja técnica VS-12F(R), [Página web en línea], México, [citado 10/01/2019], disponible en internet: <https://www.mouser.es/datasheet/2/427/vs-12fseries-1074148.pdf>
- [36] Personales.unican.es, Interruptor diferencial, [Página web en línea], México, [citado 12/01/2019], disponible en internet: <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Instalac%20Caminos.pdf>
- [37] Hager.es, CDC748M, [Página web en línea], México, [citado 12/01/2019], disponible en internet: <https://bit.ly/2F0IOsn>
- [38] Personales.unican.es, Magnetotérmico, [Página web en línea], México, [citado 12/01/2019], disponible en internet: <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Instalac%20Caminos.pdf>
- [39] Hager.es, MUN216A, [Página web en línea], México, [citado 12/01/2019], disponible en internet: <https://bit.ly/2QdTFiD>

- [40] Cableselectricos.cl, Recubrimiento cables, [Página web en línea], México, [citado 12/01/2019], disponible en internet: <https://cableselectricos.cl/articulos/capacidad-de-transporte-de-los-conductores/>
- [41] Wikipedia.org, Calibre cables, [Página web en línea], México, [citado 12/01/2019], disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_de_alambre_estadounidense
- [42] Schneider-electric.com, Pulsador seta, [Página web en línea], México, [citado 12/01/2019], disponible en internet: <https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/XB4BS8442>
- [43] Uk.rs-online.com, Botón de paro, [Página web en línea], México, [citado 12/01/2019], disponible en internet: <https://uk.rs-online.com/web/p/emergency-stop-push-buttons/7951306/>
- [44] Meanwell.com, Fuente externa, [Página web en línea], México, [citado 13/01/2019], disponible en internet: <https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=HDR-30>
- [45] Electronicaembajadores.com, Amperímetro analógico, [Página web en línea], México, [citado 13/01/2019], disponible en internet: <https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/IPAA775/instrumentos-de-panel/instrumentos-analogicos-amperimetros/>
- [46] Automation24.es, Borne de paso carril DIN, [Página web en línea], México, [citado 13/01/2019], disponible en internet: <https://www.automation24.es/borne-de-paso-phoenix-3212120-pt-10>
- [47] Electronicaembajadores.com, LED piloto, [Página web en línea], México, [citado 13/01/2019], disponible en internet: <https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/IIH148V/iluminacion-y-senalizacion-general/pilotos-led/piloto-led-22mm-230v-verde>
- [48] Qmadis.com, Enchufe carril DIN, [Página web en línea], México, [citado 13/01/2019], disponible en internet: <https://qmadis.com/7579-toma-enchufe-schuko-2pt-carril-din-legrand-004285.html>
- [49] Wikipedia.org, Definición cuadro eléctrico, [Página web en línea], México, [citado 14/01/2019], disponible en internet: https://es.wikipedia.org/wiki/Cuadro_de_distribuci%C3%B3n
- [50] Grupobpv.es, Referencia de Almacén eléctrico BPV, [Página web en línea], México, [citado 14/01/2019], disponible en internet: <http://grupobpv.es/bpv-valdemoro.php>
- [51] Artic.ac, Pasta térmica, [Página web en línea], México, [citado 14/01/2019], disponible en internet: https://www.arctic.ac/worldwide_en/mx-4.html

[52] Une.org, Norma UNE-EN 60898-, [Página web en línea], México, [citado 13/02/2019], disponible en internet: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0030836>