

**Diseño e implementación de un tablero de distribución eléctrica bifásico inteligente de cuatro circuitos, basado en tecnología Arduino, para minimizar el impacto negativo ocasionado por los desbalances de cargas monofásicos y algunos tipos de perturbaciones frecuentes en las redes eléctricas**

Eduardo Nicolás Rey Paba

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de ciencias básicas tecnologías e ingenierías - ECBTI

Ingeniería Electrónica

2022

**Diseño e implementación de un tablero de distribución eléctrica bifásico inteligente de cuatro circuitos, basado en tecnología Arduino, para minimizar el impacto negativo ocasionado por los desbalances de cargas monofásicos, y algunos tipos de perturbaciones frecuentes en las redes eléctricas.**

Eduardo Nicolás Rey Paba

Asesora de proyecto:

Estefany María Lancheros Sepúlveda

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de ciencias básicas tecnologías e ingenierías - ECBTI

Ingeniería Electrónica

2022

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

Firma director

---

Firma de jurado

---

Firma de jurado

### **Agradecimientos**

Quiero darle gracias a Dios por permitirme alcanzar este logro en mi vida; a mi madre que me enseñó a persistir y me guía desde el cielo; a mi padre que me dio el carácter para alcanzar mis objetivos; a mi amada esposa Mogola que me ha acompañado más de la mitad de mi vida en todas las luchas que he emprendido, dándome su apoyo y sus sabios consejos; y a mis Hijos,

Eduardo y María Gabriela, que son el motor de mi vida.

También quiero hacerle un reconocimiento a mi querida tutora Estefany Lancheros, que guio mis pasos para culminación de este trabajo, así como a todos los docentes y directivos de esta prestigiosa universidad que permitieron mi formación como ingeniero electrónico.

## Resumen

Las fluctuaciones, los transitorios, desbalance e interrupciones de tensión son las perturbaciones eléctricas más habituales que provocan daños en electrodomésticos y equipos electrónicos de muchas familias colombianas en ciertas zonas del país debido a la deficiencia en la calidad del servicio de energía eléctrica que prestan las empresas de distribución de esta. Esta problemática repercute en la economía y calidad de vida de cientos de hogares a lo largo del territorio nacional. El desarrollo de este proyecto brinda una solución técnica y económicamente viable para las zonas del país que presentan una baja calidad del servicio de energía eléctrica, así como solucionar problemas internos de la red doméstica, como los falsos contactos, desbalances de cargas monofásicas, temperatura, entre otros. El sistema desarrollado está basado en el diseño de un tablero de distribución eléctrica inteligente, mediante el uso de una tarjeta Arduino, capaz de controlar, de tomar decisiones autónomas al sensar y registrar perturbaciones eléctricas tales como sobrevoltajes, subvoltajes, micro cortes y cortes de energía, en tiempo real, para proteger los circuitos eléctricos con equipos sensibles a estas perturbaciones antes mencionadas. Esta solución tiene como principales características: Protección de sobrevoltaje y subvoltaje de los circuitos eléctricos para los equipos sensibles a estas perturbaciones. Protección contra micro corte en los circuitos eléctricos con equipos sensibles. Protección de estabilidad del voltaje al reiniciar cuando se restablece la energía después de un corte energético. Programación de valores de protección de corriente en circuitos monofásicos. Balanceo de cargas monofásicas.

**Palabras claves:** sensar, tarjeta Arduino, voltaje, tablero de distribución.

### **Abstract**

Voltage fluctuations, transients, imbalances and interruptions are the most common electrical anomalies that cause damage to household appliances and electronic equipment of many Colombian families—in certain areas of the country— due to the deficiency in the quality of the electricity service they provide. its distribution companies. This problem affects the economy and quality of life of hundreds of homes throughout the national territory. The development of this project provides a technically and economically viable solution for areas of the country that present a low quality of electric power service, as well as solving internal problems of the domestic network, such as false contacts, unbalanced single-phase loads, temperature, among others. The developed system is based on the design of an intelligent electrical distribution board, through the use of an Arduino card, capable of controlling, making autonomous decisions by sensing and recording electrical anomalies, in real time, to protect electrical circuits with equipment. sensitive to these disturbances. This solution has as main characteristics: Overvoltage and undervoltage protection of electrical circuits for equipment sensitive to these disturbances. Protection against micro-cuts in electrical circuits with sensitive equipment. Voltage stability protection by restarting when power is restored after power outage. Programming of current protection values in single-phase circuits. Balancing of single-phase loads.

**Keywords:** sensing, Arduino board, voltage, distribution board.

## Contenido

Lista de Figuras.....	10
Lista de Apéndices .....	13
Introducción .....	14
Planteamiento del Problema .....	16
Justificación .....	17
Objetivos.....	19
Objetivo general .....	19
Objetivos específicos.....	19
Marco Teórico.....	20
Voltaje nominal .....	20
Perturbación Eléctrica .....	20
Sobrevoltaje.....	20
Subvoltaje.....	20
Corte de energía .....	21
Desbalances de cargas monofásicas .....	21
Definición y elementos de un tablero de distribución eléctrica .....	22
Clasificación de los tableros de distribución .....	22
Componentes de los Tableros .....	25
Protecciones Termomagnéticas. ....	26
Componentes electrónicos a utilizar en el proyecto.....	27
Resistores .....	27
Capacitadores .....	28

Amplificador operacional .....	29
Sensores de corrientes .....	29
Diodos rectificadores.....	30
Transformador de voltaje 120/12 v.....	31
Regulador de voltaje .....	32
Relés de estado solido.....	33
Diodos LED .....	33
Transistor .....	34
Optocoplador .....	35
Arduino Uno .....	35
Filtro pasa bajas .....	36
Amplificador seguidor de voltaje.....	37
Amplificador operacional LM 358N .....	37
Diseño de un Sistema de Adquisición de Datos .....	39
Sistema de adquisición de la señal de voltaje .....	39
Diseño del sistema de adquisición de datos de voltaje.....	40
Paso 1: valor máximo permitido del voltaje de línea.....	40
Paso 2: valor mínimo permitido del voltaje de línea .....	41
Paso 3: rectificación y filtrado de la señal alterna .....	42
Paso 4: filtrado de la señal rectificada por filtro pasa-bajas de 16 Hz.....	43
Paso 5: valor máximo permitido en voltaje de fase .....	44
Paso 6: valor mínimo permitido del voltaje de fase.....	45
Paso 7: rectificado y filtrado de la señal de voltaje de fase .....	46

Etapa de adquisición de datos para corriente .....	47
Etapa de Control y Potencia.....	49
Protección contra sobrevoltajes y subvoltajes.....	50
Protección contra interrupciones o micro cortes de energía .....	52
Protecciones contra sobrecorrientes .....	52
Balanceo de carga.....	54
Condición 1 .....	55
Condición 2.....	56
Condición 3.....	57
Etapa de potencia .....	58
Implementación y pruebas del prototipo.....	60
Prueba de corte de energía o micro corte .....	66
Prueba de protección de subvoltaje.....	67
Prueba de protección de sobrevoltaje.....	68
Prueba de balanceo de carga .....	69
Conclusión .....	71
Referencias.....	73
Apéndices.....	76

## Lista de Figuras

Figura 1 Tableros Generales .....	23
Figura 2 Tablero auxiliar general.....	23
Figura 3 Tablero de alumbrado.....	24
Figura 4 Barraje de tablero .....	25
Figura 5 Aislador eléctrico.....	26
Figura 6 Protección bipolar termomagnética.....	27
Figura 7 Resistencias eléctricas .....	28
Figura 8 Capacitadores eléctricos .....	28
Figura 9 Amplificador operacional.....	29
Figura 10 Sensor de corriente Acs712-30a - Arduino .....	30
Figura 11 Diodos rectificadores.....	31
Figura 12 Transformador de voltaje .....	32
Figura 13 Regulador de voltaje.....	32
Figura 14 Relé de estado sólido .....	33
Figura 15 Diodos LED.....	34
Figura 16 Transistor .....	34
Figura 17 Optocoplador .....	35
Figura 18 Arduino Uno.....	36
Figura 19 Filtro pasa bajas .....	36
Figura 20 Amplificador seguidor.....	37
Figura 21 Esquemático de LM 358N.....	38
Figura 22 Sistema de adquisición de datos completos.....	40

Figura 23	Divisor de tensión completo .....	41
Figura 24	Divisor de tensión .....	42
Figura 25	Puente rectificador de onda completa.....	42
Figura 26	Sistema de adquisición de datos completos corregido .....	44
Figura 27	Divisor de tensión para voltajes de fase .....	45
Figura 28	Valor mínimo de fase .....	46
Figura 29	Rectificado y filtrado de la señal de voltaje de fase .....	47
Figura 30	Adquisición de señal de corriente.....	48
Figura 31	Código inicial .....	49
Figura 32	Códigos de activación de relés .....	50
Figura 33	Código para tomar valores de voltaje y valor umbral .....	51
Figura 34	Código continuidad del servicio .....	52
Figura 35	Código referencias para valores de corriente de líneas .....	53
Figura 36	Código comparación valores corriente y umbral.....	53
Figura 37	Código verificación de las salidas de Arduino .....	54
Figura 38	Fragmento del código de verificación de la primera condición .....	56
Figura 39	Fragmento del código de verificación de la segunda condición.....	57
Figura 40	Relés estado sólido y características.....	58
Figura 41	Protección termomagnética y curva de disparo.....	59
Figura 42	Prototipo armado .....	60
Figura 43	Tarjeta de adquisición de señales .....	61
Figura 44	Tarjeta de detección de cruce por cero .....	61
Figura 45	Tarjeta Arduino Uno.....	62

Figura 46	Sensores de corriente ACS-712.....	62
Figura 47	Relés de estado solido .....	63
Figura 48	Banco de pruebas.....	63
Figura 49	Ajuste de corriente de protección .....	64
Figura 50	Encendido del sistema .....	64
Figura 51	Valores de corrientes de líneas .....	65
Figura 52	Circuito que simula falla de energía o microcorte.....	65
Figura 53	Funcionamiento normal.....	66
Figura 54	Activación de falla de enería o microcorte.....	66
Figura 55	Protección de falla de energía o microcorte (activación) .....	67
Figura 56	Protección a bajo voltaje .....	68
Figura 57	Protección a alto voltaje .....	69
Figura 58	Activación del (des)balance inicial .....	70
Figura 59	Activación balanceo II.....	70

### **Lista de Apéndices**

Apéndice A Diagrama de tarjeta de adquisición de señales de voltaje.....	76
Apéndice B PCB de tarjeta de adquisición de señales de voltaje .....	77
Apéndice C Modelo 3D de tarjeta de adquisición de señales de voltaje .....	78
Apéndice D Diagrama de tarjeta de cruce por cero .....	79
Apéndice E PCB de tarjeta de cruce por cero.....	80
Apéndice F Modelo 3D de tarjeta de cruce por cero .....	81
Apéndice G Código en Arduino del sistema de control. ....	82

## Introducción

Con el pasar de los años, la humanidad se ha vuelto totalmente dependiente de la tecnología. Hoy día no podemos vivir sin nuestros teléfonos inteligentes, computadores portátiles y todas las comodidades que nos brinda nuestro mundo tecnológico. A su vez, este mundo tecnológico se ha vuelto totalmente dependiente de la disponibilidad continua de un suministro eléctrico confiable. El sistema eléctrico de nuestro país está conformado por un número de centrales generadoras interconectadas entre sí, por medio de una gran red de transmisión nacional; esta, al tiempo, lleva este suministro de energía a un número de subestaciones eléctricas ubicadas por todo el territorio nacional para transformarlas en niveles de tensión más bajos y así distribuir las por medio de las comercializadoras entre los usuarios industriales, comerciales y residenciales.

En la mayoría de estos procesos de transmisión, distribución y comercialización se utilizan redes aéreas con cable desnudo, lo que hace que el sistema eléctrico sea vulnerable a algunos tipos de perturbaciones eléctricas tales como sobrevoltajes, subvoltajes, micro cortes y cortes de energía, ocasionados la mayoría de las veces por causas externas como pueden ser la lluvia, vientos fuertes, accidentes con animales, entre otros. Por otro lado, este tipo de perturbaciones también pueden ocurrir por causas internas de la instalación eléctrica como por ejemplo los causados por los desbalances de cargas monofásicas en el barraje principal del tablero de distribución eléctrica, los cuales afectan negativamente la calidad de energía.

Estas perturbaciones eléctricas generan problemas o daños a los equipos que tenemos conectados a la red eléctrica domiciliaria, que ocasionan elevados costos de reparación o, en el peor de los casos, apelar por cambiar los equipos que sufren el daño, lo que, por supuesto, genera costos que, muchas veces, no están presupuestados. De aquí, pues, surge la motivación de

investigar sobre esta problemática y buscar una solución viable para este problema tanto en lo técnico como económico.

Por tal motivo, este trabajo tiene como objetivo principal desarrollar un prototipo capaz de minimizar el impacto destructivo que tienen los sobrevoltajes, subvoltaje, micro cortes, y cortes de energía, a través del uso de la tecnología Arduino, que permita brindar a la comunidad una herramienta robusta, compacta y económica. Este trabajo estriba su importancia en lo planteado a lo largo de este texto: proporcionar una solución de protección a los equipos —electrodomésticos y equipos electrónicos— que tenemos en los hogares.

Para la realización de este trabajo se han desarrollado cuatro capítulos donde se recopilan toda la investigación realizada. En el primer capítulo encontramos el planteamiento del problema, la justificación, el objetivo general y los objetivos específicos, que nos van a permitir contextualizar sobre las dificultades y estrategias para el desarrollo de este proyecto. En el segundo capítulo se presenta el marco teórico, que contiene la base teórica del desarrollo del proyecto. En el capítulo 3, por su lado, se mostrarán todos los cálculos y diseños de las etapas de adquisición de datos, tales como voltaje de línea, voltajes de fases y corrientes. Luego tenemos el capítulo 4, donde se explica las diferentes etapas de control y potencia del dispositivo, así como su funcionamiento. Más allá de estos apartados, finalmente, se plantearán unas conclusiones del proyecto, así como unos anexos que contienen los diagramas eléctricos y el *software* de control desarrollado e implementado de manera completa que servirán como consulta para el lector y como bases para futuros trabajos y mejoras que se pretendan implementar en el sistema.

## **Planteamiento del Problema**

En el sector residencial, de ciertas zonas del país, son muy comunes los daños en los electrodomésticos y equipos electrónicos a causa de algunos tipos de perturbaciones como son los sobrevoltajes, subvoltajes, micro cortes y los cortes de energía que se generan frecuentemente en la red eléctrica domiciliaria. Estas perturbaciones eléctricas ocasionan un impacto negativo en la economía de los usuarios del servicio de energía ya que tienen que gastar altas sumas de dinero en reparaciones o, en el peor de los casos, en la reposición de estos.

Las demandas por los daños en electrodomésticos, ocasionados por el sobre voltaje de la energía eléctrica, se han convertido en un dolor de cabeza para los usuarios, ya que la empresa prestadora del servicio muchas veces no responde por estos daños (El Herald, 2012).

El Gobierno nacional, mediante el Ministerio de Minas y Energía, ha legislado sobre el tema mediante la norma NTC 1340, Tensiones y frecuencia nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público. Sin embargo, el problema persiste y perjudica a los usuarios del servicio (Cervantes Roa, 2014).

A partir de la situación planteada se tiene una visión clara de la importancia y necesidad de formular la siguiente pregunta problema:

### **Pregunta de Investigación**

¿Cómo diseñar e implementar un tablero de distribución eléctrica bifásico inteligente, basado en tecnología Arduino, para minimizar el impacto negativo ocasionado por los desbalances de cargas monofásicos y algunos tipos de perturbaciones frecuentes en las redes eléctricas?

## **Justificación**

Desde hace muchos años, la calidad de la potencia eléctrica está regulada por el Gobierno nacional a través de la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas), por medio de la Ley 142 (1994) que en su artículo 137 establece las reparaciones a que tiene derecho el usuario, cuando se presente una falla en la prestación del servicio; sin embargo, por falta de información, o por evitar procesos largos que requieren tiempo, muchos usuarios no reclaman esos derechos establecidos por la ley y hacen las reparaciones con sus recursos.

Hay que hacer claridad sobre un aspecto importante en este tema, los sobrevoltajes, subvoltajes, micro cortes y cortes de energía pueden generarse por dos factores diferentes: el primero puede ser ocasionado por fenómenos externos a la red de distribución, tales como las tormentas eléctricas, los vientos fuertes o la manipulación de grandes cargas eléctricas; el segundo factor puede ser generado por problemas internos de la instalación, como sobrecarga de circuitos, mal tendido de los conductores o desbalances de las cargas monofásicas. Con base en esto, se puede afirmar que, aunque la instalación eléctrica cumpla con unos buenos parámetros de diseño, puede ser afectada por perturbaciones eléctricas en cualquier momento.

Aunque en el mercado existen productos que ayudan a mitigar estos efectos en los equipos, la mayoría son muy costosos y están diseñados específicamente para el sector industrial; por lo tanto, es necesario desarrollar una solución más eficiente como es el diseño de un tablero de distribución inteligente para uso residencial que sirva de alternativa robusta, compacta y económica, la cual incluya, en un mismo equipo, las protecciones para los sobrevoltajes, subvoltajes, micro cortes y cortes de energía ocasionados por causas externas o como consecuencia de los desbalances de cargas monofásicas entre las barras del tablero, otro impacto negativo que pueden tener estos desbalances de cargas es el calentamiento de conductores y

disparos de protecciones termo magnéticas de manera incorrecta. (Radthink, 2012).

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar e implementar de un tablero de distribución eléctrica bifásico inteligente de cuatro circuitos, basado en tecnología Arduino, para minimizar el impacto negativo ocasionado por los desbalances de cargas monofásicos y algunos tipos de perturbaciones frecuentes en las redes eléctricas.

### **Objetivos Específicos**

Diseñar un módulo de control (software y hardware), basado en Arduino que sea capaz de sensor estas perturbaciones eléctricas, tales como, sobrevoltajes, subvoltajes, micro cortes y cortes de energía y realizar acciones de protección en tiempo real.

Diseñar un módulo de potencia capaz de realizar las acciones de protección en forma instantánea, de acuerdo con las acciones del módulo de control.

Construir los módulos de control y potencia del tablero de distribución inteligente.

Evaluar los resultados y las respuestas del dispositivo.

## **Marco Teórico**

Para poder avanzar en el desarrollo de este proyecto tenemos que tener claridad en cada una de las siguientes definiciones:

### **Voltaje Nominal**

“El voltaje nominal es la diferencia de potencial específica para la que se diseña un equipo o una instalación eléctrica. El voltaje nominal en el sector residencial en Barranquilla es de 240 voltios en voltaje de línea y de 120 voltios en voltaje de fase.” (Energía Solar, s.f., párr. 1).

### **Perturbación Eléctrica**

Son todos aquellos fenómenos o eventos que afectan a las características de un suministro eléctrico, las cuales afectan al voltaje, corriente o frecuencia, y pueden estar originadas en las centrales eléctricas, sistemas de distribución o en las propias instalaciones de los usuarios (Poyato, s.f., p. 6). En este trabajo nos concentraremos en solucionar las siguientes anomalías.

### **Sobrevoltaje**

“Es el aumento de la magnitud del voltaje de alimentación a más del 110% del voltaje nominal de Corriente Alterna (CA) durante un lapso de tiempo mayor a un minuto” (Sánchez Cortés, 2009, p. 80). Es decir, se presenta un sobrevoltaje si este valor de voltaje nominal fase supera los 132 voltios y 262 voltios en el voltaje de línea

### **Subvoltaje**

“Es la reducción de la magnitud del voltaje de alimentación a menos del 90% del voltaje nominal de Corriente Alterna (CA) durante un lapso de tiempo mayor de un minuto” (Sánchez Cortés, 2009, p. 81).

Se habla de un subvoltaje si el valor del voltaje residencial de fase disminuye de 120 voltios a menos de 108 voltios y el voltaje de línea a menos 216 voltios.

### **Micro Corte de Energía**

“Es la pérdida total del voltaje en uno o más conductores de fase durante un periodo de tiempo entre medio ciclo (8ms a 60 Hz) hasta 3 segundos” (Sánchez Cortés, 2009, p. 83).

Un ejemplo claro de esto es cuando se observa un parpadeo en los equipos o en las luces luego que se restablece el servicio de energía eléctrica después de un corte.

### **Corte de Energía**

“Es la pérdida total del voltaje en uno o más conductores de fase durante un periodo de tiempo superior a un minuto” (Sánchez Cortés, 2009, p. 83).

Un ejemplo de esta problemática es cuando se corta el suministro de energía eléctrica en el lugar donde estamos por cualquier causa externa o interna de la instalación Eléctrica.

### **Desbalances de Cargas Monofásicas**

Los desbalances de cargas monofásicas ocurren cuando uno de los barrajes del tablero de distribución eléctrica tiene un número mayor de equipos (cargas eléctricas) conectados que en el otro.

Un ejemplo de esto es que cuando se realizan las mediciones de corriente en los barrajes del tablero de distribución un barraje mide 30 amperios y el otro mide 5 amperios aquí estamos hablando de un desbalance de carga. En la actualidad el balanceo de cargas eléctricas monofásicas se realiza manualmente, esto es identificando las cargas que se utilizan comúnmente y agrupándolas en los distintos barrajes del tablero.

## **Definición y Elementos de un Tablero de Distribución Eléctrica**

Un tablero de distribución es uno de los principales componentes de la instalación eléctrica, pues es el lugar físico donde llegan las acometidas principales. En él se protegen cada uno de los distintos circuitos en que se divide la instalación, a través de protecciones termomagnéticas y diferenciales (Ryctel, 2017).

Los tableros eléctricos están constituidos por un gabinete o armario en el que se alojan los elementos necesarios para cumplir con las funciones asignadas en el proyecto del tablero mismo, como medición, protección, maniobra, señalización, alarmas, conxionado, etc., de los circuitos de una instalación eléctrica (Farina, 2019).

Al menos existe un tablero principal por instalación, como ocurre en la mayoría de las viviendas, y desde este pueden alimentarse uno o más tableros secundarios, como pasa normalmente en las instalaciones industriales y grandes comercios (Ryctel, 2017).

## **Clasificación de los Tableros de Distribución**

Los tableros de distribución se clasifican según:

- Su ubicación y función: tableros generales (T. G.), tableros auxiliares generales (T. A. G.).
- El uso de la energía eléctrica: tableros de distribución (T. D.), tablero de alumbrado y tablero de fuerza.

Definamos los tableros según su ubicación y función.

### **Tableros Generales (T. G.).**

Son los tableros principales de las instalaciones. En la figura 1 se puede apreciar un ejemplo de este tipo de tableros. En estos se montan los dispositivos de protección y de maniobra que protegen los alimentadores y que permiten operar sobre toda la instalación interior en forma conjunta o fraccionada (Farina, 2019).

#### **Figura 1**

*Tableros Generales*



Fuente: Rodríguez (2012)

### **Tableros Auxiliares Generales (T. G. A.).**

Son tableros que serán alimentados desde un tablero general y desde allí se protegen y operan subalimentadores que alimentan tableros de distribución (Farina, 2019). En la figura 2 se puede apreciar este tipo de tableros.

#### **Figura 2**

*Tablero auxiliar general*



Fuente: Rodríguez (2012)

Ahora bien, por su uso de la energía eléctrica encontramos:

### **Tableros de distribución (T. D.).**

Son tableros que contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar directamente los circuitos en que está dividida la instalación o una parte de ella. Pueden ser alimentados desde un tablero general, desde un tablero general auxiliar o directamente desde el empalme (Rodríguez, 2012).

### **Tablero de alumbrado (T. A.).**

En la figura 3 se presenta un tablero de alumbrado, el cual es un elemento que sirve para controlar y dividir circuitos de una instalación eléctrica, en la que también es posible alimentar y controlar diversos centros de carga; esta protección está controlada por interruptores termomagnéticos de uno, dos y tres polos. Los tableros van dirigidos a pequeños y grandes negocios, oficinas, centros comerciales, donde se requieren dividir la instalación por zonas (Rodríguez, 2012).

### **Figura 3**

*Tablero de alumbrado*



Fuente: Rodríguez (2012)

### **Tablero de fuerza (T. F.).**

También se le llama *centro de carga*. Este es un gabinete metálico con doble fondo que contiene un número determinados de protecciones termomagnéticas para la protección y desconexión de carga eléctricas y alumbrados (Rodríguez, 2012). Estos tableros pueden ser mono o trifásicos, lo que les permite que den soporte a interruptores termomagnéticos mono, bi o tripolares (Rodríguez, 2012).

### **Componentes de los Tableros**

Veamos los componentes que contienen los tableros.

#### **Barrajes y aisladores.**

Son barras de material conductor, especialmente de cobre o aluminio, que sirven para suministrar la corriente eléctrica a cada uno de los componentes del tablero. Se fijan al gabinete metálico por medio de unos dispositivos llamados aisladores. Se clasifican en barrajes de líneas, barraje de neutro y barraje de tierra. En la figura 4 se puede apreciar las barras y sus elementos.

#### **Figura 4**

*Barraje de tablero*



Fuente: Rodríguez (2012)

### **Aisladores eléctricos.**

Son los componentes del tablero de distribución que se encargan de soportar mecánicamente los barrajes en su lugar y mantenerlos separados de tierra y de los otros conductores. Están fabricado con material aislante para tal fin. En la figura 5 se aprecia un ejemplo de aislador eléctrico.

### **Figura 5**

*Aislador eléctrico*



Fuente: <https://acortar.link/aisladorelectrico>

### **Protecciones Termomagnéticas.**

Son dispositivos capaces de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando esta sobrepasa ciertos valores máximos permitidos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). Poseen, así mismo, tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético. Cada uno de estos puede actuar independientemente de los otros, estando formada su curva de disparo por la superposición de ambas características, magnética y térmica. (López Fuentes y Viteri Morales, 2010). En la figura 6 se aprecia este tipo de protección (bipolar) termomagnética.

**Figura 6**

*Protección bipolar termomagnética*



Fuente: <https://acortar.link/protecciontermo>

**Componentes Electrónicos a Utilizar en el Proyecto**

En este apartado se mostrarán los componentes que este proyecto investigativo usará para la realización del tablero objeto de estudio.

**Resistores**

En la figura 7 se aprecia cómo se ve los resistores, los cuales son los componentes del circuito eléctrico que se oponen al paso de la corriente eléctrica.

## Figura 7

*Resistencias eléctricas (a) Imagen y (b) símbolo*



(a)



(b)

Fuente: (a) <https://electronicaonline.net/componentes-electronicos/resistor/> (b) Símbolo: <https://www.simbologia-electronica.com/simbologia-electrica-electronica/simbolos-electricos-electronicos-basicos.htm>

## Capacitores.

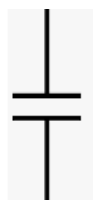
Son los dispositivos que almacenan energía. Se encuentran disponibles en muchos tamaños y formas, tal como se aprecia en la figura 8. Estos consisten en dos placas de material conductor (generalmente, un metal fino) ubicado entre un aislador de cerámica, película, vidrio u otros materiales —incluso aire— (Fluke, 2021).

## Figura 8

*Capacitores eléctricos (a) Imagen y (b) símbolo*



(a)



(b)

Fuente: (a) <https://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Tipos-de-capacitores.php> (b) Símbolo: <https://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-condensadores-electricos.htm>

### Amplificador operacional.

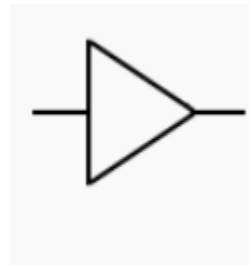
En la figura 9 se puede observar un ejemplo de un amplificador operacional como lo es el LM 741, este componente consiste en un circuito electrónico que es capaz de amplificar, sumar e invertir señales de voltaje en corriente directa. En este caso lo configuraremos como amplificador diferencial el cual presenta como característica una alta ganancia de voltaje, una alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida (Boylestad, 1998).

### Figura 9

*Amplificador operacional (a) Imagen y (b) símbolo*



(a)



(b)

Fuente: (a) <https://electronilab.co/tienda/lf411-amplificador-operacional/> (b) Símbolo: [https://www.simbologia-electronica.com/simbologia-electrica-electronica/simbolos-electricos-electronicos-basicos.htm#simbolos\\_componentes\\_activos](https://www.simbologia-electronica.com/simbologia-electrica-electronica/simbolos-electricos-electronicos-basicos.htm#simbolos_componentes_activos)

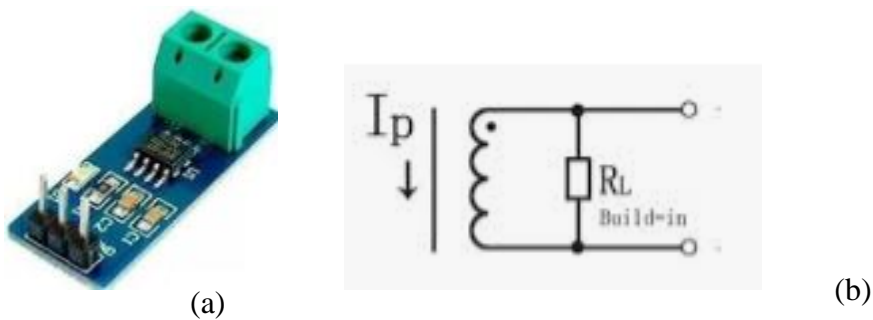
### Sensores de Corrientes

Tal como se aprecia en la figura 10, ese dispositivo es capaz de sensar el flujo de corriente eléctrica que pasa por el circuito. Para este diseño utilizaremos un medidor de corriente alterno acs712- 30<sup>a</sup>. El cual se alimenta con un voltaje de corriente directa (cd) a 5 V (suministrado por la tarjeta Arduino). Internamente este dispositivo trabaja con sensor de efecto Hall que se encarga de detectar el campo magnético que produce por la inducción de la corriente

que circula sobre la línea que se estará midiendo. Este sensor en su salida produce un voltaje proporcional a la corriente, y puede operar con una corriente de circulación máxima de 30 amperios. Con este mismo instrumento podemos calcular la corriente eficaz o RMS (por sus siglas en inglés que traducen a valor cuadrático medio) y con esto obtener el cálculo de potencia.

### Figura 10

*Sensor de corriente Acs712-30a – Arduino (a) Imagen y (b) símbolo*



Fuente: (a) <https://acortar.link/sensordecorriente> (b) Símbolo:

[https://naylorlampmechatronics.com/blog/51\\_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html](https://naylorlampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html)

### Diodos Rectificadores

Un diodo (figura 11) es un componente electrónico compuesto por un material semiconductor, que permite el paso de corriente en un solo sentido (Boylestad, 1998).

Con este dispositivo se pueden elaborar circuitos con rectificación de onda completa o media onda, con el objeto de transformar la corriente alterna en corriente continua.

**Figura 11**

*Diodos rectificadores (a) Imagen y (b) Símbolo)*



Fuente: (a) <https://acortar.link/oQs36R> (b) Símbolo: [https://www.simbologia-electronica.com/simbologia-electrica-electronica/simbolos-electricos-electronicos-basicos.htm#simbolos\\_componentes\\_activos](https://www.simbologia-electronica.com/simbologia-electrica-electronica/simbolos-electricos-electronicos-basicos.htm#simbolos_componentes_activos)

**Transformador de Voltaje 120/12 v**

Un transformador es un dispositivo que cambia la potencia eléctrica alterna, con un nivel de voltaje, a potencia eléctrica alterna, con otro nivel de voltaje, mediante la acción de un campo magnético. Consta, tal como en la figura 12, de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas —normalmente— no están conectadas en forma directa; la única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo (Chapman, 2005)

## Figura 12

*Transformador de voltaje (a) Imagen y (b) símbolo*



Fuente: (a) <https://www.carrod.mx/products/transformador> (b) Símbolo:

[https://www.simbologia-electronica.com/simbologia-electrica-electronica/simbolos-electricos-electronicos-basicos.htm#simbolos\\_componentes\\_activos](https://www.simbologia-electronica.com/simbologia-electrica-electronica/simbolos-electricos-electronicos-basicos.htm#simbolos_componentes_activos)

## Regulador de Voltaje

Es un componente electrónico que tiene la función de mantener un voltaje invariante en el tiempo de la salida. La figura 13 muestra el regulador de voltaje LM7805, el cual es un regulador de voltaje lineal, presenta 3 terminales (entrada, tierra, salida regulada), su propósito de uso es brindar una alimentación regulada de 5V a dispositivos de baja potencia.

## Figura 13

*Regulador de voltaje (a) Imagen y (b) símbolo*



Fuente: (a) [http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Regulador-de-voltaje-](http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Regulador-de-voltaje-LM7805.php)

[LM7805.php](https://www.freepng.es/png-2qg2vt/) (b) Símbolo: <https://www.freepng.es/png-2qg2vt/>

## Relés de Estado Sólido

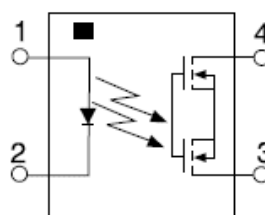
Los relés de estado sólido son dispositivos semiconductores que realizan la misma función que los relés mecánicos, pero se diferencian de estos porque no tienen partes móviles. Una de las principales características de un relé de estado sólido es que entre la corriente del circuito de control y la corriente del circuito de potencia no existe ningún punto donde se conecten, se unan o interfieran una con la otra, porque se encuentra aislado ópticamente; lo anterior es de suma importancia para independizar el circuito de control del de potencia (Electro Industria, 2020). En la figura 14 se presenta un ejemplo de este tipo de relé de estado sólido.

### Figura 14

*Relé de estado sólido (a) Imagen y (b) símbolo*



(a)



(b)

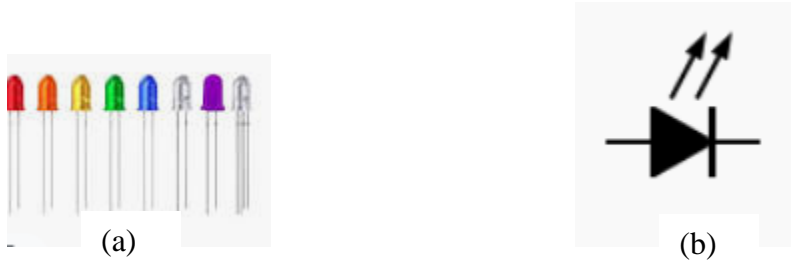
Fuente: (a) <https://tienda.bricogeeek.com/interruptores/687-rele-de-estado-solido>. (b) Símbolo: <https://electronica.guru/questions/40706/que-simbolo-usar-para-un-rele-de-estado-solido-en-un-esquema>

## Diodos LED

Son un componente electrónico compuesto por un material semiconductor que emite luz al ser polarizado directamente (Boylestad, 1998). La figura 15 permite ver su forma, donde se puede observar que cuenta con dos terminales (ánodo y cátodo), el color de la luz emitida está determinada por el ancho de banda con el cual fue diseñado.

## Figura 15

*Diodos LED (a) Imagen y (b) símbolo*



Fuente: (a) <https://leantec.es/tienda/10-diodos-led-5mm/>. (b) Símbolo: <https://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-diodos.htm>

## Transistor

En la Figura 16 se aprecia un transistor, el cual es un dispositivo electrónico que restringe o permite el flujo de corriente eléctrica entre dos contactos según la presencia o ausencia de corriente en un tercero (Torrente, 2010). Los transistores generalmente son usados para diseñar amplificadores, osciladores, conmutadores o rectificadores.

## Figura 16

*Transistor (a) Imagen y (b) símbolo*



Fuente: (a) <https://www.ecured.cu/Transistor> (b) Símbolo: <https://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-transistores.htm>

## Optocoplador

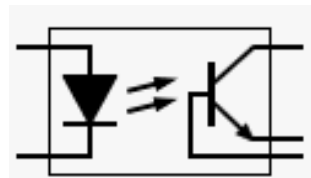
Es un dispositivo electrónico que funciona como interruptor al ser activado por medio de un LED infrarrojo. Sirve para aislar un circuito de control del de potencia. Su forma es como se aprecia en la figura 17.

### Figura 17

*Optocoplador (a) Imagen y (b) símbolo)*



(a)



(b)

Fuente: (a) [https://www.ecured.cu/Optoacoplador\\_LTV-817](https://www.ecured.cu/Optoacoplador_LTV-817) (b) Símbolo:

[https://www.simbologia-electronica.com/electricos-electronicos-pdf/Simbolos\\_Optoacopladores.pdf](https://www.simbologia-electronica.com/electricos-electronicos-pdf/Simbolos_Optoacopladores.pdf)

## Arduino Uno

Es una placa hardware libre (como se aprecia en la figura 18) que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra —los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador—, que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores (Torrente, 2010).

## Figura 18

*Arduino Uno (a) Imagen y (b) símbolo*



(a)



(b)

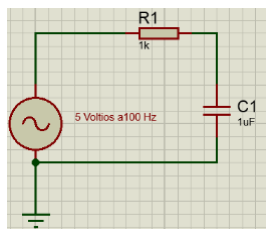
Fuente: (a) <https://arduino.cl/arduino-uno/> (b) símbolo: Dougherty (2017).

## Filtro Pasa Bajas

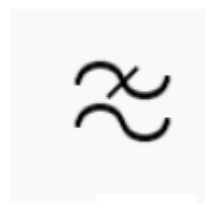
Tal como se ve en la figura 19, este es un filtro que proporciona una salida constante desde CD hasta una frecuencia de corte específica, y que luego no permite que pase ninguna señal por arriba de dicha frecuencia (Boylestad, 1998).

## Figura 19

*Filtro pasa bajas (a) Imagen y (b) símbolo*



(a)



(b)

Fuente: (a) Elaboración propia. (b) Símbolo: <https://www.simbologia-electronica.com/simbolos-electricos-electronicos/simbolos-filtros-electricos.htm>

## Amplificador Seguidor de Voltaje

El amplificador seguidor de tensión es un circuito que proporciona en la salida la misma tensión que en la entrada, independientemente de la carga que se le acopla, es decir, sin importar la intensidad que se demande. Esta aplicación es importante en la amplificación de señales, este dispositivo se aprecia en la figura 20.

### Figura 20

*Amplificador seguidor (a) Imagen y (b) símbolo*



Fuente: (a) <https://www.electronicafacil.net/tutoriales/SEGUIDOR-DE-TENSION.html>

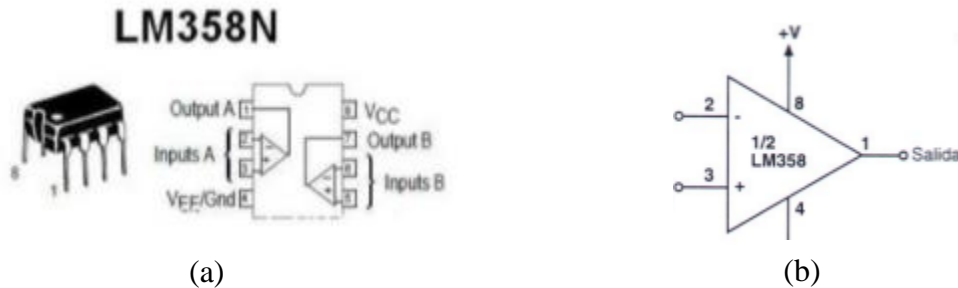
(b) Símbolo: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Seguidor-de-voltaje.php>

## Amplificador Operacional LM 358N

El amplificador LM 358N es un circuito integrado (CI) de ocho pines que, internamente, está construido por dos amplificadores operacionales independientes de alta ganancia con compensación de frecuencia interna (ver figura 21), diseñado específicamente para operar mediante una única fuente de alimentación en un amplio rango de voltaje (uelectronics.com, 2019).

**Figura 21**

Esquemático de LM 358N (a) Imagen y (b) símbolo



Fuente: (a) <https://www.vistronica.com/componentes-activos/amplificadores-operacionales> (b)

Simbolo: EMPT (s.f.).

Entre las principales características de este circuito integrado tenemos:

- Voltaje de alimentación; 3 @ 32 volts
- Voltaje offset de entrada: 7mV
- Corriente de salida por canal: 30 mA
- Corriente de suministro operativa: 350uA
- Tipo: Amplificador operacional
- Matrícula: LM358 P
- Encapsulado: PDIP-8
- Pines: 8 pines
- Altura: 4.57 mm
- Longitud: 9.81 mm
- Ancho: 6.35 mm

## **Diseño de un Sistema de Adquisición de Datos**

Un sistema de adquisición de datos es el conjunto de elementos electrónicos necesarios que sirven para convertir un fenómeno físico en una señal eléctrica para su tratamiento y control. El dispositivo que se va a diseñar e implementar es un tablero de distribución eléctrico bifásico de cuatro circuitos que tendrá tres sistemas de adquisición de señales:

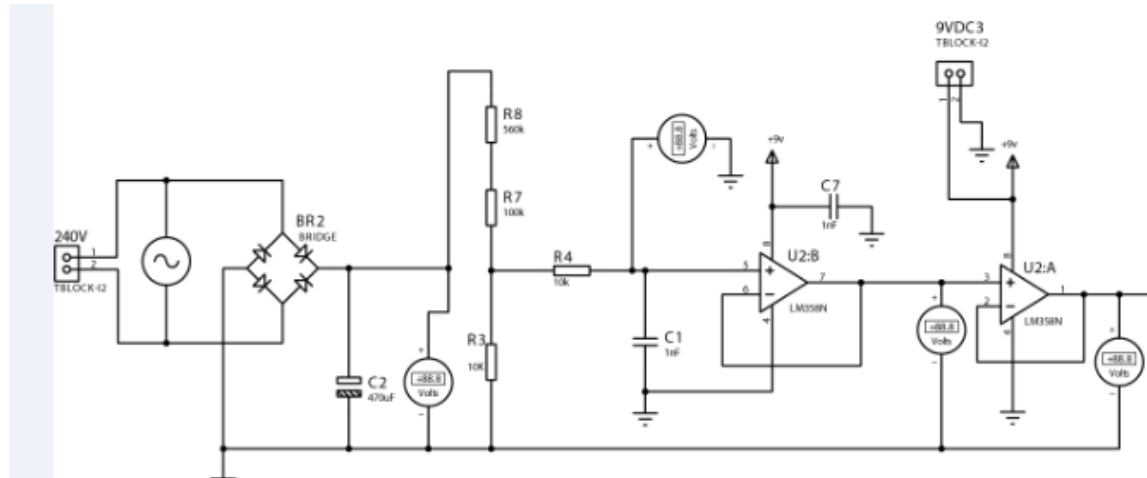
1. Sistema de adquisición de señal de voltaje
2. Sistema de adquisición de señal de corriente
3. Sistema de adquisición de señal para continuidad de servicio

### **Sistema de Adquisición de la Señal de Voltaje**

Es el circuito encargado de tomar la señal de voltaje de la red exterior 240/120V y convertirla en una señal idéntica de 5 voltios para su procesamiento digital. Los sistemas de adquisición de datos para las señales de voltajes del tablero están compuestos por un divisor de voltajes con resistencias, un puente rectificador con un capacitor en paralelo, un filtro pasa bajas de 16 Hz y un amplificador seguidor de voltaje configurado mediante el uso de un amplificador operacional, tal como se muestra en la figura 22.

**Figura 22**

*Sistema de adquisición de datos completos*



Fuente: Elaboración propia.

### Diseño del Sistema de Adquisición de Datos de Voltaje

Para hallar el valor superior de la protección de voltaje de línea se tiene que el valor máximo permitido es de 250 Voltios alternos. Se utilizará la siguiente fórmula de un divisor de tensión:

#### Paso 1: Valor Máximo Permitido del Voltaje de Línea

$$V_{Out} = \frac{R_2}{(R_5 + R_2)} V_{In} \quad (1)$$

Se tiene que  $R_2 = 10 K$  y los valores de  $V_{Out} = 5 V$  y  $V_{In} = 250 V$  se tiene que

$$V_{Out} * (R_5 + R_2) = R_2 * V_{In}$$

Despejando  $R_1$  da como resultado

$$5R_5 = 2500000 - 50000$$

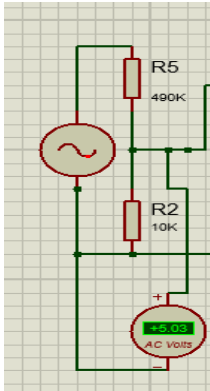
$$5R_5 = 2450000$$

$$R_5 = 490K$$

En la figura 23 se puede apreciar el divisor de tensión, que responde a lo expuesto

**Figura 23**

*Divisor de tensión completo*



Fuente: Elaboración propia.

### **Paso 2: Valor Mínimo Permitido del Voltaje de Línea**

Valor mínimo permitido  $V_{In} = 190 V$

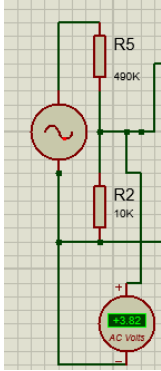
$$V_{Out} = \frac{R_2}{(R_5 + R_2)} V_{In} \quad (1)$$

$$V_{Out} = \frac{10K}{(490K + 10K)} 190$$

$$V_{Out} = \frac{10K}{(500K)} 190$$

$$V_{Out} = 3.8 V$$

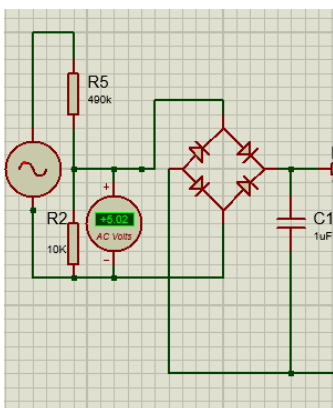
Esto se puede observar en la simulación en proteus de la figura 24:

**Figura 24***Divisor de tensión*

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 3: Rectificación y Filtrado de la Señal Alterna**

En este punto, la señal de voltaje será rectificadada y filtrada para tener un valor de corriente directa  $V_{cd}$ , Para esto utiliza un puente rectificador de cuatro diodos y un condensador de  $1\mu F$ , como se muestra en la figura 25.

**Figura 25***Puente rectificador de onda completa*

Fuente: Elaboración propia.

#### Paso 4: Filtrado de la Señal Rectificada por Filtro Pasa-Bajas de 16 Hz

A continuación, la señal será filtrada. Para esto, se utilizará un filtro pasa bajas de 16 Hz de primer orden, compuesto por una resistencia y un capacitor seguido por un amplificador operacional LM 358N en configuración *seguidor de voltaje*.

#### Cálculo de Filtro Pasa Bajos de Primer Orden.

La función de transferencia es

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{s + \frac{1}{CR}} \quad (2)$$

$$R = \frac{1}{2\pi f_c C}$$

Donde

$$R = \frac{1}{2\pi f_c C} = 10K\Omega$$

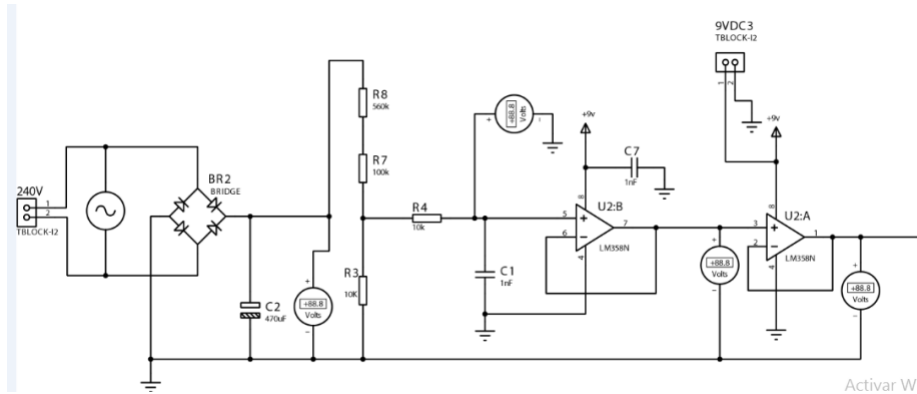
Si  $C=1000\text{nf}$

$$F_c = 16 \text{ Hz}$$

Para el diseño del tablero se utilizará el amplificador operacional LM 358N. Con el proceso de rectificación y el filtrado, el valor de voltaje en la salida de la tarjeta de adquisición es de 6.5 voltios, que es muy alto para la entrada a la placa de Arduino; hay que llevar el valor 6.50 voltios a 5 voltios —es el voltaje permitido por el Arduino—. Esto se consigue graduando el valor de  $R_1$  a 660Kohmios en el divisor de voltaje, como se muestra en la figura 26.

**Figura 26**

*Sistema de adquisición de datos completos corregido*



Fuente: Elaboración propia.

Ahora calculemos para los voltajes de fases.

### Paso 5: Valor Máximo Permitido en Voltaje de Fase

$$V_{Out} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} V_{In} \quad (1)$$

Se tiene que  $R_2 = 10 K$  y los valores de  $V_{Out} = 5 V$  y  $V_{In} = 140 V$ , donde  $V_{In}$  es el valor máximo de voltaje de fase permitido, tenemos que

$$V_{Out} * (R_1 + R_2) = R_2 * V_{In}$$

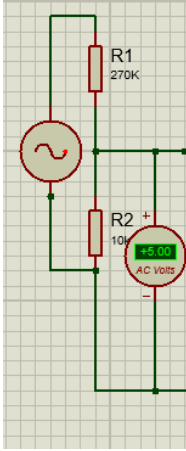
$$\text{Despejando } R_1 \text{ tenemos } 5R_1 = 1400000 - 50000$$

$$5R_1 = 1350000$$

$R_1 = 270K$ , como se muestra en la figura 27

**Figura 27**

*Divisor de tensión para voltajes de fase*



Fuente: Elaboración propia.

### **Paso 6: Valor Mínimo permitido del Voltaje de Fase**

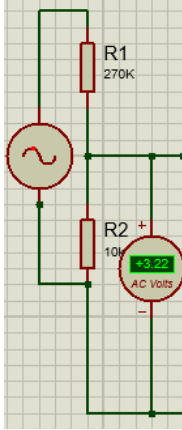
Para calcular el valor mínimo de funcionamiento de 90 voltios se tiene (figura 28):

$$V_{out} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} V_{in} \text{ Ecuación (1)}$$

$$V_{out} = \frac{10K}{(270K + 10K)} 90$$

$$V_{out} = \frac{10K}{(280K)} 90$$

$$V_{out} = 3.21 V$$

**Figura 28***Valor mínimo de fase*

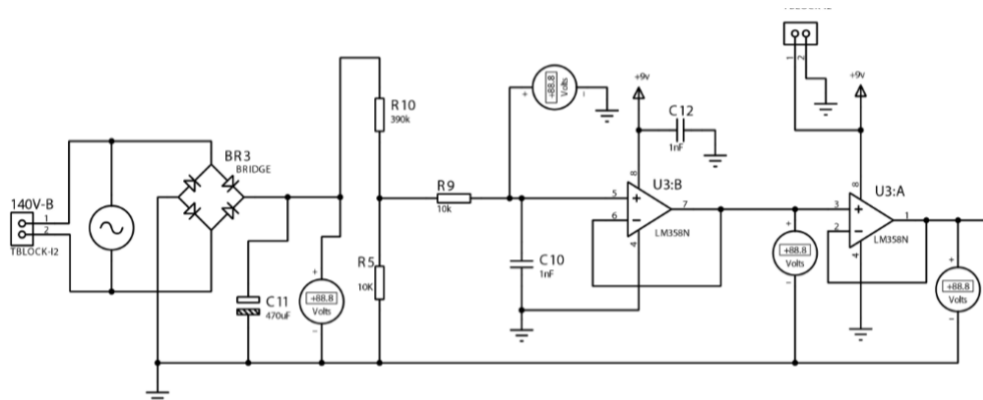
Fuente: Elaboración propia.

**Paso 7: Rectificado y Filtrado de la Señal de Voltaje de Fase**

Nuevamente por el proceso de rectificación y el filtrado el valor de voltaje en la salida de la tarjeta de adquisición es de 6.5 voltios, que es muy alto para la entrada a la placa de Arduino; por tal razón, hay que llevar el valor 6.50 voltios a 5 voltios es lo que permitido por el Arduino. Esto se hace graduando el valor de R1 en el divisor de voltaje, lo que arroja un valor de  $R1 = 390 \text{ K}\Omega$ , como muestra la figura 29.

**Figura 29**

*Rectificado y filtrado de la señal de voltaje de fase*



Fuente: Elaboración propia.

### **Etapa de Adquisición de Datos para Corriente**

Para esta etapa se toma la señal de corriente de las líneas que alimentan eléctricamente el tablero, por medio del sensor ACS 712, el cual cuenta con un sistema de acondicionamiento de señal incorporado. El sensor de corriente ACS712 es una solución económica para medir corriente. Internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. El sensor nos entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente. Dependiendo de la aplicación, podemos usar el ACS712-05A, ACS712-20A o el ACS712-30A, para rangos de 5, 20 o 30 amperios, respectivamente (NAYLAMP, 2019).

El ACS712 se puede encontrar en módulos, los cuales facilitan sus conexiones; traen una bornera para conectar la línea que queremos medir y tres pines: dos para conectar la alimentación y un pin para la salida analógica (NAYLAMP, 2019).

El sensor entrega un valor de 2.5 voltios para una corriente de 0A, y a partir de allí se incrementa proporcionalmente de acuerdo con la sensibilidad, teniendo una relación lineal entre

la salida de voltaje del sensor con la corriente. Dicha relación es una línea recta en una gráfica Voltaje vs. Corriente, donde la pendiente es la sensibilidad y la intersección en el eje  $Y$  es 2.5 voltios. La ecuación de la recta sería la siguiente (NAYLAMP, 2019):

$$V = mI + 2.5 \quad (3)$$

Donde la pendiente es  $m$  y equivale a la sensibilidad. Despejando se tiene la ecuación para hallar la corriente a partir de la lectura del sensor:

$$I = \frac{V - 2.5}{\text{Sensibilidad}} \quad (4)$$

La ecuación (4) es la que se toma para realizar las lecturas del puerto análogo provenientes del sensor.

### **Figura 30**

*Adquisición de señal de corriente*



Fuente: tomado de. <https://acortar.link/QEGAcj>

## Etapa de Control y Potencia

Para la etapa de control se utilizará la tarjeta Arduino uno, debido a su fácil manejo, gran versatilidad, robustez y bajo costo. Antes de que se explique el funcionamiento de cada una de las protecciones con que cuenta el tablero, examinemos cómo es el funcionamiento del sistema.

Una vez que se conecta el tablero a la red eléctrica domiciliaria examina los siguientes parámetros (figura 31):

1. Continuidad del servicio.
2. Voltaje de línea que se encuentre en los valores permitidos de operación.
3. Voltajes de fase que se encuentren en los valores permitidos de operación.

En la figura 31 se muestran los códigos iniciales en los que se verifican las condiciones de arranque del servicio.

### Figura 31

#### *Código inicial*

```

7 void loop() {
8   Tomar_Muestras(); //Primera lectura
9   Presentar();
0   if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea > 190 && voltaje_linea < 245 && voltajef1 > 90 && voltajef1 < 135 && voltajef2 > 90 && voltajef2 < 135){
1     proteccion =0;
2     CambioI();
3     contz = 0;
4     contP=0;
5     contM=0;
6
7     delay(10);}

```

Fuente: Elaboración propia.

Una vez verificados estos parámetros, el sistema de control del tablero activa los relés de estado sólido permitiendo que los equipos eléctricos sean conectados a la red de distribución.

Esta activación se da solo cuando las ondas de voltajes pasen por cero, para evitar así transientes y conexiones abruptas que puedan generar problemas a la red o en los equipos.

En la figura 32 se pueden observar los códigos cuando los relés de estado sólido se activan por primera vez.

### Figura 32

#### *Códigos de activación de relés*

```

151 void Encendido() { // Inicialización
152 while(conty<1){
153   if(digitalRead(12)==1){ // Cruce x cero de la corriente 1
154     cont=cont+1;
155     if (cont<2){
156       digitalWrite(13,1); // Carga conectada a barraje de corriente 1
157       digitalWrite(11,1); // Carga conectada a barraje de corriente 1
158       digitalWrite(6,0); // Pin de conmutación de Barraje de corriente 2 a corriente 1
159       contx = 1;
160       delay(5);
161     }
162   }
163   if(digitalRead(10)==1&&contx == 1 ){ // Cruce por cero de la corriente 2
164     cont_1=cont_1+1;
165     if (cont_1<2){
166       digitalWrite(8,1); // Carga conectada a barraje de corriente 2
167       digitalWrite(9,1); // Carga conectada a barraje de corriente 2
168       digitalWrite(7,0); // Pin de conmutacion de Barraje de corriente a 1 a Barraje de corriente 2
169       contw = 1;
170     }
171   }
172   if(contx==1 && contw ==1){ // desactiva el ciclo while para salir de balnceo1
173     conty = 1;
174   }
175 }
176 }

```

Fuente: Elaboración propia.

El software de control se divide en 4 etapas. Se exponen a continuación.

### **Protección Contra Sobrevoltajes y Subvoltajes**

En esta etapa, la tarjeta Arduino Uno está sensando los valores nominales de las señales de voltajes de línea y de fases provenientes de las tarjetas de adquisición de datos de voltaje.

Estas están conectadas en los siguientes pines análogos:

- La señal de voltaje de línea está conectada al pin A(2).

- La señal de voltaje de fase 1 está conectada al pin A(3).
- La señal de voltaje de fase 2 está conectada al pin A(4).

En la figura 33 se verán los códigos donde se muestran los valores de voltaje y el valor umbral de línea.

### Figura 33

*Código para tomar valores de voltaje y valor umbral*

```

1 void Tomar_Muestras() {
2   // Verificando los primeros parametros
3   Lectura2 = analogRead(A2);
4   voltaje_linea = (50*(5.0*Lectura2)/1023);
5   Lectura3 = analogRead(A3);
6   voltajef1= (28*(5.0*Lectura3)/1023);
7   Lectura4 = analogRead(A4);
8   voltajef2= (28*(5.0*Lectura4)/1023);
9   Lectura5 = analogRead(A5);
10  corriente_prote = (5.0*Lectura5)/1023;
11 }

```

Fuente: Elaboración propia.

Cuando el Arduino sensa valores por encima o por debajo de los valores umbrales de voltajes programados, el sistema de protección se activa y desconectan los circuitos eléctricos del tablero por el tiempo que se presente la falla; todo esto como medida de seguridad para evitar que los equipos que están conectados a la red sean afectados.

Los valores Umbrales para la señal de voltaje de línea son:

$$V_{Linea\ max} = 240\ V$$

$$V_{Linea\ min} = 190\ V$$

Los valores Umbrales para la señal de voltaje de fase son:

$$V_{Fase\ max} = 140\ V$$

$$V_{Fase\ min} = 90\ V$$

### **Protección Contra Interrupciones o Micro cortes de energía**

Para este tipo protección utilizaremos los pines digitales; en el caso de esta en particular se usará como entrada el pin digital (2). El funcionamiento es el siguiente: si hay continuidad en el servicio, siempre tendremos un valor alto (1) en la entrada del pin (2); cuando ocurre una interrupción en el servicio, el valor de entrada del pin (2) pasa de un nivel *alto* (1) a un nivel *bajo* (0), activando el sistema de protección del dispositivo y desconectando de inmediato los circuitos eléctricos del tablero por el tiempo que permanezca la falla, como medida de seguridad para evitar que los equipos conectados a la red sean afectados.

La figura 34 muestra el código en el que se evalúa la continuidad del servicio.

#### **Figura 34**

*Código continuidad del servicio*

```
if(digitalRead(2)==1
```

Fuente: Elaboración propia.

### **Protecciones Contra Sobrecorrientes**

El Arduino sensa los valores de corriente por medio de los pines análogos A(0) y A(1); si estos valores sobrepasan el valor ajustado por el potenciómetro de 10K, que está conectado en el pin analógico A(5), se activará el sistema de protección del dispositivo desconectando inmediatamente los circuitos eléctricos del tablero por el tiempo que permanezca la falla como medida de seguridad para evitar que los equipos conectados a la red sean afectados.

En la figura 35 se aprecia el código que se tiene en cuenta para determinar los valores de las corrientes en línea.

### Figura 35

*Código referencias para valores de corriente de líneas*

```

108 while(millis()-tiempo<500)//realizamos mediciones durante 0.5 segundos
109 {
110     voltajeSensor1 = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);//lectura del sensor
111     corriente1=0.9*corriente1+0.1*((voltajeSensor1-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la corriente
112     if(corriente1>Imax1)Imax1=corriente1;
113     if(corriente1<Imin1)Imin1=corriente1;
114 }
115 return(((Imax1-Imin1)/2)-offset);
116 ]

125 while(millis()-tiempo1<500)//realizamos mediciones durante 0.5 segundos
126 {
127     voltajeSensor2 = analogRead(A1) * (5.0 / 1023.0);//lectura del sensor
128     corriente2=0.9*corriente2+0.1*((voltajeSensor2-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la corriente
129     if(corriente2>Imax2)Imax2=corriente2;
130     if(corriente2<Imin2)Imin2=corriente2;
131 }
132 return(((Imax2-Imin2)/2)-offset);
133 ]

```

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 36 se aprecia el código que sirve para comparar el valor de las corrientes con el valor umbral.

### Figura 36

*Código comparación valores corriente y umbral*

```
I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote)
```

Fuente: Elaboración propia.

## Balanceo de Carga

Una vez que el dispositivo se activa, se conectan los relés de estado sólido a los barrajes del tablero, lo que permite que queden las cargas conectadas a la red de distribución eléctrica.

Las salidas del Arduino quedan activadas de la siguiente manera: los pines 13 y 11 se conectarán a los relés de estado sólidos del barraje del voltaje de fase 1, y los pines 8 y 9 se conectarán a los relés de estado sólido del barraje del voltaje de fase 2, los pines 6 y 7 se podrán conectar tanto al barraje del voltaje de fase 1 como al barraje del voltaje de fase 2, es decir, estos son los que servirán para realizar el balanceo de carga.

En la figura 37 se aprecia el código que nos sirve de verificación de las salidas del Arduino.

### Figura 37

*Código verificación de las salidas de Arduino*

```
digitalWrite(13,1);  
digitalWrite(11,1);  
digitalWrite(6,0);  
  
digitalWrite(8,1);  
digitalWrite(9,1);  
digitalWrite(7,0);
```

Fuente: Elaboración propia.

El sistema empieza a sensar los valores de las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  provenientes de los barrajes del voltaje de fase 1 y fase 2 respectivamente para dar una respuesta, según sea el caso. El módulo de balanceo de carga del tablero está diseñado para funcionar solo cuando ocurra una de estas dos condiciones iniciales en los valores de las corrientes  $I_1$  e  $I_2$ :

- Condición 1  $I_1 > 1$  e  $I_2 < 1$
- Condición 2  $I_1 < 1$  e  $I_2 > 1$

### **Condición 1**

Cuando  $I_1 > 1$  e  $I_2 < 1$ . Como el tablero es un dispositivo de cuatro circuitos, tenemos dos protecciones conectadas al barraje del voltaje de fase 1 y las otras dos estarán conectadas al barraje del voltaje de fase 2.

Cuando ocurre la condición  $I_1 > 1$  e  $I_2 < 1$ , el dispositivo desconecta una de las protecciones que están conectadas al barraje del voltaje de fase 1 y pone a nivel *bajo* (cero) el pin 13 del Arduino, y conecta esa protección al barraje del voltaje de fase 2 y pone en estado *alto* (uno) el pin 6. Esto se hace para que en la próxima carga que se fuera a conectar al barraje del voltaje de fase 1, se conecte al barraje del voltaje de fase 2.

El dispositivo nuevamente sensa los valores de corriente, y si la condición cambia a  $I_1 > 1$  e  $I_2 > 1$  o  $I_1 < 1$  e  $I_2 < 1$ , el programa entra en un ciclo hasta que una de estas condiciones cambie.

La figura 38 nos muestra parte del código en la que se puede verificar lo explicado anteriormente.

## Figura 38

### Fragmento del código de verificación de la primera condición

```

364 if(I1 > 0 && I2 < 0.4 && digitalRead(4) == 1){
365   while(contP < 10 && contM == 1){
366 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea > 2.5 && voltaje_linea < 3.5 && voltaje_f1 > 2.5 && voltaje_f1 < 3.5 && voltaje_f2 > 2.5 && voltaje_f2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote){
367   Tomar_Muestras();
368   Leer_Corrientes();
369   Presentar();
370   Presentar_Corrientes();
371 }
372 else{
373   contM = 2;
374   proteccion = 1;
375 }
376 Balanceo2();
377 contP = contP + 1;
378 digitalWrite(3, 0);
379 while(I1 > 0 && I2 > 0 && contM == 1){
380   digitalWrite(3, 1);
381 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea > 2.5 && voltaje_linea < 3.5 && voltaje_f1 > 2.5 && voltaje_f1 < 3.5 && voltaje_f2 > 2.5 && voltaje_f2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote){
382   Tomar_Muestras();
383   Leer_Corrientes();
384   Presentar();
385   Presentar_Corrientes();
386 }

```

Fuente: Elaboración propia.

### Condición 2

Si  $I_1 < 1$  e  $I_2 > 1$ . Cuando ocurre esta condición, el dispositivo hace lo inverso que la condición pasada: desconecta una de las protecciones conectadas al barraje del voltaje de fase 2 y lo pone en un nivel *bajo* (cero), en el pin 8 del Arduino; y conecta esa protección al barraje del voltaje de fase 1, y lo sitúa en estado *alto* (uno) al pin 7. Esto se hace con el fin de que la próxima carga que se hubiera conectado al barraje del voltaje de fase 2, se conecte al barraje del voltaje de fase 1.

El dispositivo nuevamente sensa los valores de corriente, y si la condición cambia a  $I_1 > 1$  e  $I_2 > 1$  o  $I_1 < 1$  e  $I_2 < 1$ , el programa entra en un ciclo hasta que una de estas condiciones cambie.

En la figura 39 se aprecia parte del código en el cual se puede verificar esta segunda condición.

### Figura 39

*Fragmento del código de verificación de la segunda condición*

```

439 if( I1 <0.4 && I2 >0 && digitalRead(4) == 1){
440 while(contP <10 && contM ==1){
441 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea > 2.5 && voltaje_linea < 3.5 && voltaje_f1 > 2.5 && voltaje_f1 < 3.5 && voltaje_f2 > 2.5 && voltaje_f2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote){
442 Tomar_Muestras();
443 Leer_Corrientes();
444 Presentar();
445 Presentar_Corrientes();
446 }
447 else{
448 contM =2;
449 proteccion=1;
450 }
451 Balanceo4();
452 contP = contP+1;
453 digitalWrite(3,0);
454 while(I1 >0 && I2 >0 && contM == 1){
455 digitalWrite(3,1);
456 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea > 2.5 && voltaje_linea < 3.5 && voltaje_f1 > 2.5 && voltaje_f1 < 3.5 && voltaje_f2 > 2.5 && voltaje_f2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote){
457 Tomar_Muestras();
458 Leer_Corrientes();
459 Presentar();
460 Presentar_Corrientes();
461 }

```

Fuente: Elaboración propia.

Una vez cualesquiera de las condiciones iniciales se activen, puede existir otra condición la cual denominaremos condición 3.

### Condición 3

Cuando  $I_1 < 1$  e  $I_2 > 2$  o  $I_1 > 2$  e  $I_2 < 1$ . Si una vez el dispositivo ha pasado por unas de estas condiciones anteriores, y al realizar el cambio de relés, persiste la misma condición, el dispositivo volverá a su estado inicial. Esto quiere decir que nuevamente se pondrán en estado

*alto* los pines 11 y 13 para el barraje del voltaje de fase 1, y los pines 8 y 9 para el barraje de voltaje de fase 2, y se situarán en estado *bajo* (cero) los pines 6 y 7.

### Etapa de Potencia

La etapa de potencia está constituida por seis relés de estado sólido y cuatro protecciones termomagnéticas.

La figura 40 muestra un relé de estado sólido y las características eléctricas que posee.

### Figura 40

*Relés estado sólido y características*



- Modelo: SSR-25 DA
- Voltaje de entrada: 3-23V DC
- Voltaje de salida: 24-380V AC
- Corriente de salida: 25A
- Tiempo de encendido:  $\leq 10$  ms
- Corriente de fuga apagada:  $\leq 2$  mA
- Tamaño de relé: 6 x 4.5 x 2.2 cm / 2.3 x 1.7 x 0.8 pulgadas (L \* W \* H)
- Peso: 0.105kg

Fuente: <https://acortar.link/relescaract>

Los relés de estado sólido funcionarán como interruptores y serán controlados por el puerto de salida digital del Arduino; estarán ubicados aguas arriba de las protecciones eléctricas.

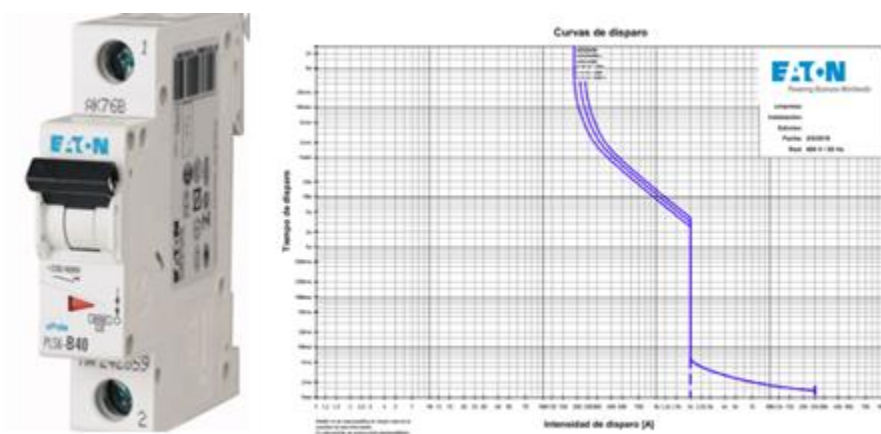
Su función principal será activar o desactivar los *breakers* termomagnéticos, una vez el dispositivo sense la anomalía eléctrica.

Las protecciones eléctricas serán del tipo termomagnético y tendrán como característica especial que son interruptores sobre Riel Din. Tienen como principal función proteger los circuitos eléctricos, aguas debajo, de sobrecargas de corriente y de cortocircuitos.

La figura 41 muestra, por un lado, una imagen de una protección termomagnética y, por otro, una curva de disparo del interruptor.

### Figura 41

*Protección termomagnética y curva de disparo*



Nota. De las dos fuentes se hizo una sola figura. Fuente: <https://acortar.link/2NZgqc>

<https://acortar.link/beCj8N>

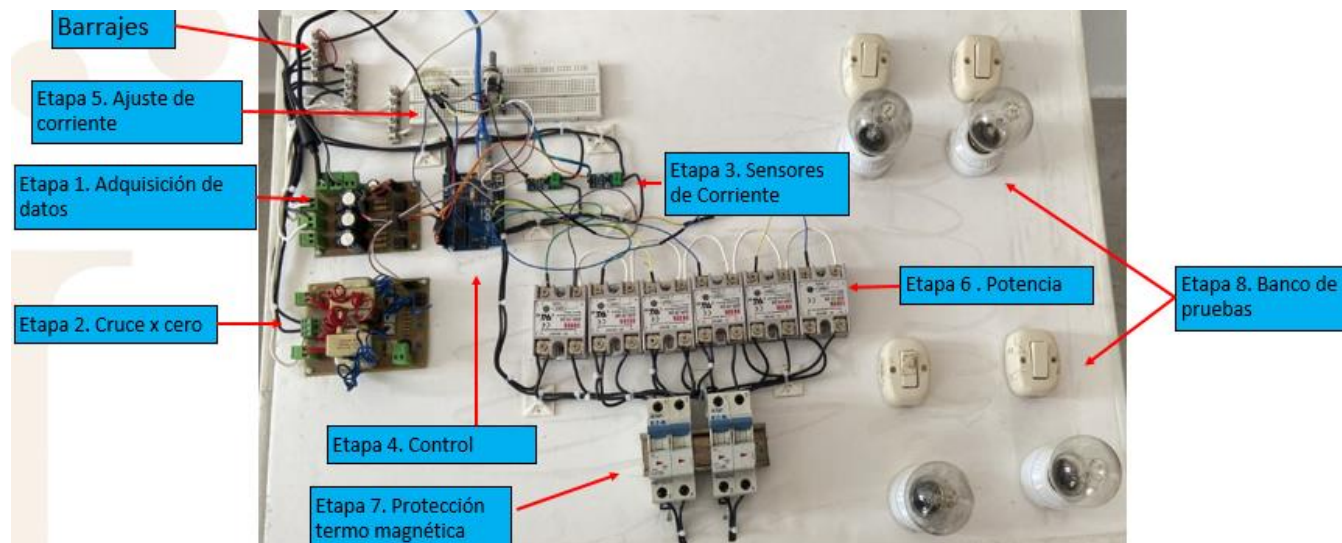
## Implementación y pruebas del prototipo

En esta parte del trabajo se muestra la construcción del prototipo. Adicionalmente, se presentan las pruebas pertinentes para verificar y evaluar el funcionamiento del equipo.

El prototipo está construido sobre una base de madera de 0,80 m x 0,60 m, que sirve de soporte a cada componente del sistema, en la figura 42 se muestra el dispositivo armado. El prototipo consta de una tarjeta de adquisición de datos o señales, ver figura 43. Una tarjeta de detección de cruce por cero, ver la figura 44. Una tarjeta Arduino Uno que es la encargada de realizar el control y gestión de respuestas del dispositivo al detectar alguna de las perturbaciones eléctricas mencionas en este proyecto, ver figura 45. Dos sensores de corrientes, ver figura 46. Una etapa de potencia formada por seis relés de estado sólido y dos protecciones termomagnéticas, ver figura 47. Y un banco de pruebas formado por cuatro bobillos con sus respectivos interruptores ver figura 48.

**Figura 42**

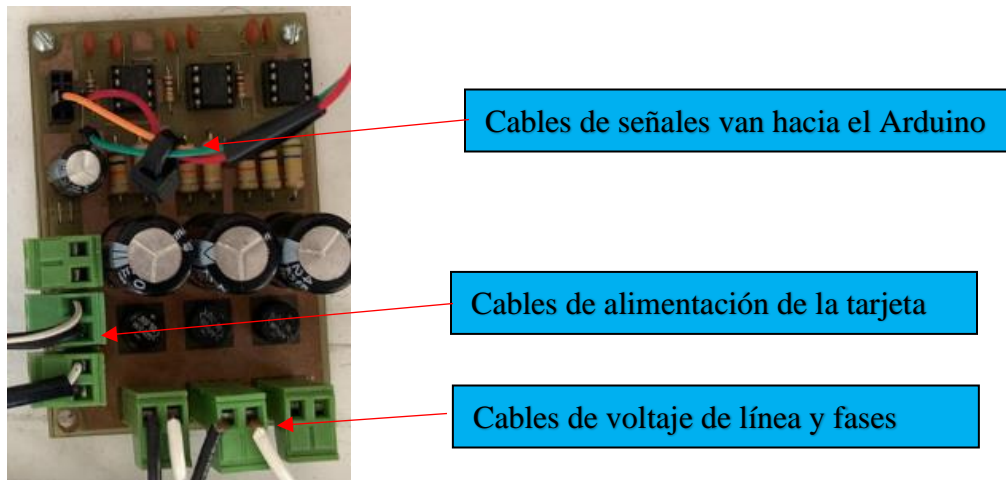
*Prototipo armado*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 43**

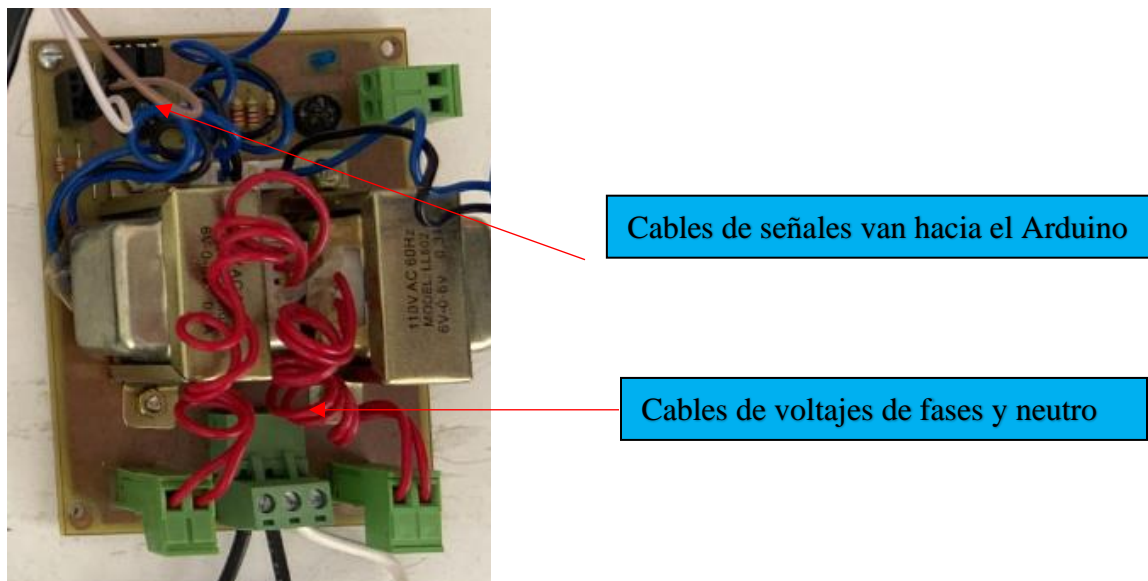
*Tarjeta de adquisición de señales*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 44**

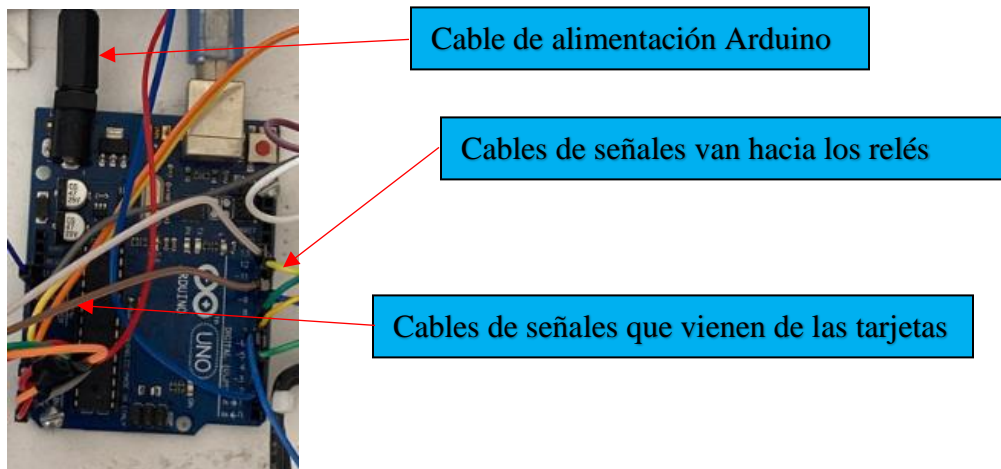
*Tarjeta de detección de cruce por cero*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 45**

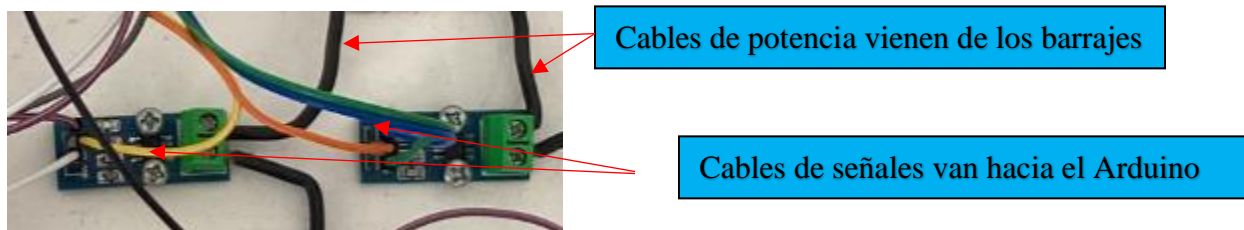
*Tarjeta Arduino Uno*



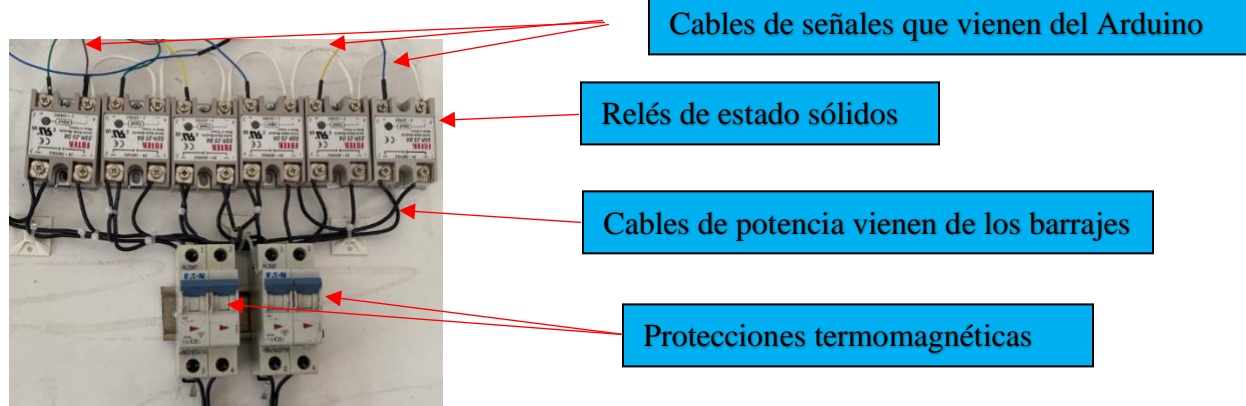
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 46**

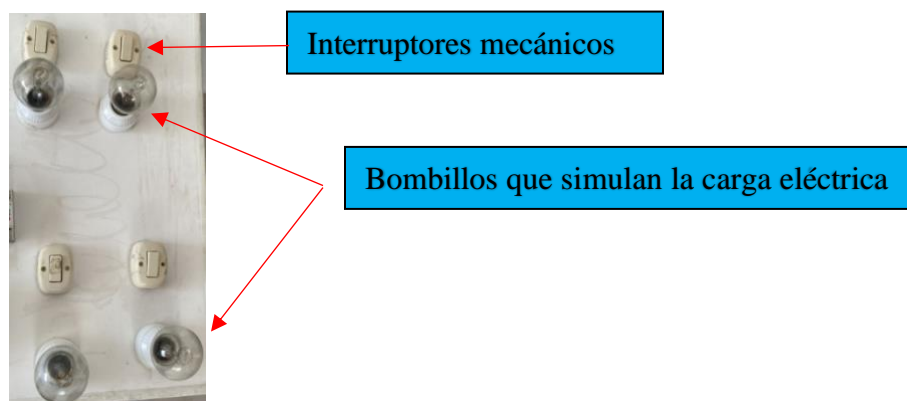
*Sensores de corriente ACS-712*



Fuente: Elaboración propia.

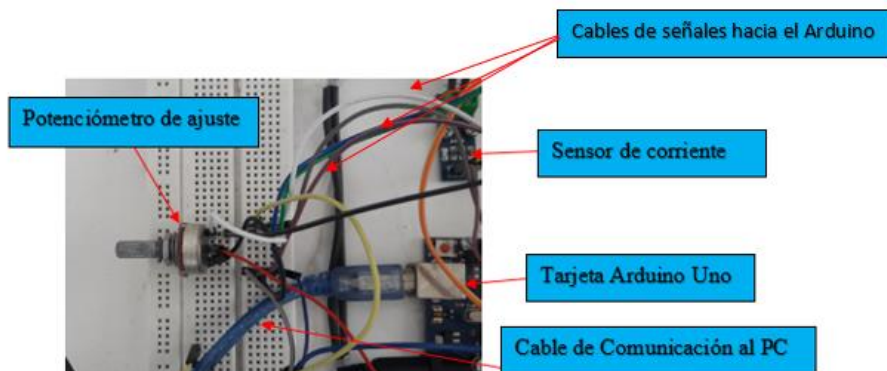
**Figura 47***Relés de estado solido*

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 48***Banco de pruebas*

Nota: El banco de pruebas consta de cuatro interruptores y cuatro bombillos de 100 vatios repartidos de la siguiente manera: dos interruptores, con sus respectivos bombillos, están conectados en el barraje uno; y los otro dos están conectados en el barraje dos. Fuente: Fuente: Elaboración propia.

En la figura 49 se muestra ajuste de valor de corriente de protección:

**Figura 49***Ajuste de corriente de protección*

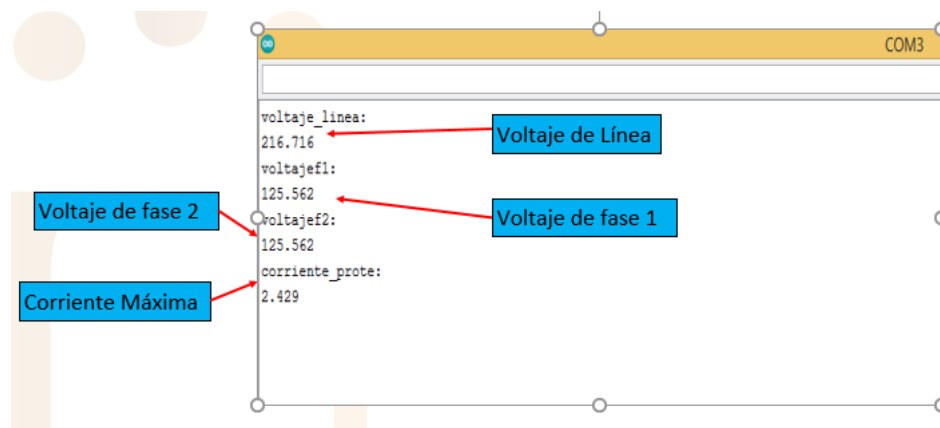
Fuente: Elaboración propia.

Esta tarjeta está conformada por un potenciómetro que es el encargado de graduar el valor de la corriente máxima permitida por el sistema.

En la figura 50 se muestra el encendido del sistema:

**Figura 50***Encendido del sistema*

Aquí se muestran los valores iniciales voltaje de línea, voltaje de fases y la corriente máxima enviadas por del dispositivo por el puerto serial del Arduino.

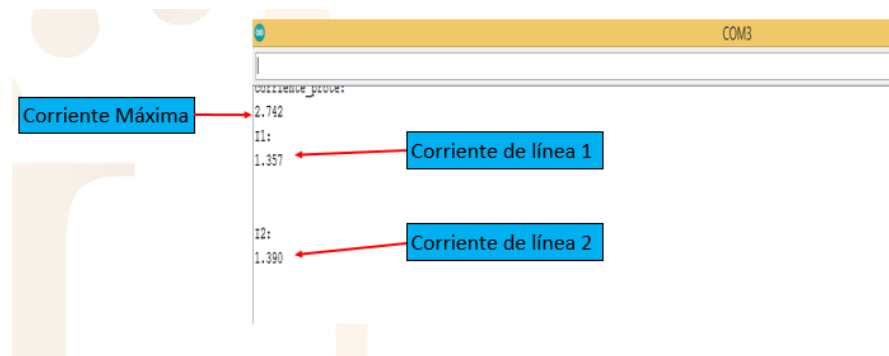


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 51 se muestran los valores de corrientes de líneas:

### Figura 51

*Valores de corrientes*

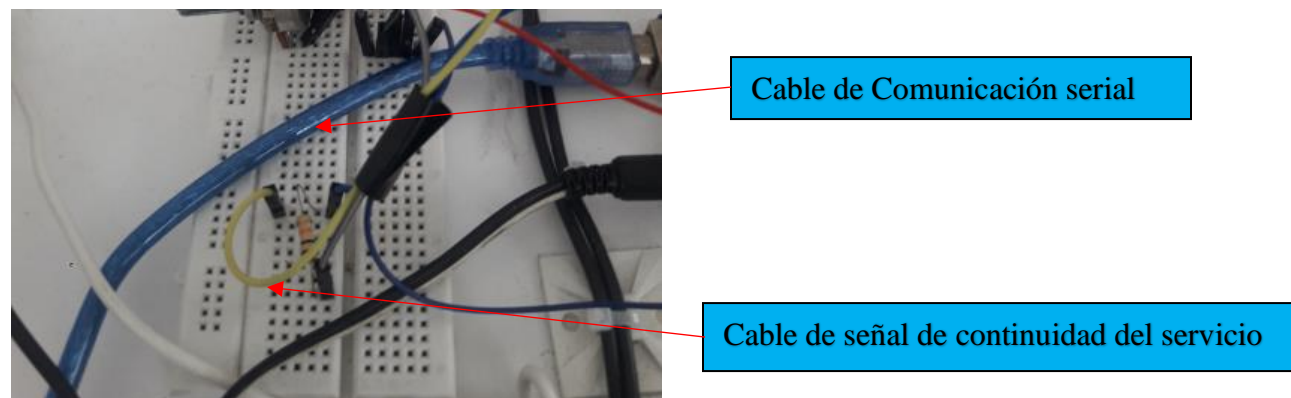


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 52 se muestra activación de protección contra micro-cortes de energía:

### Figura 52

*Circuito que simula falla de energía o micro-corte*



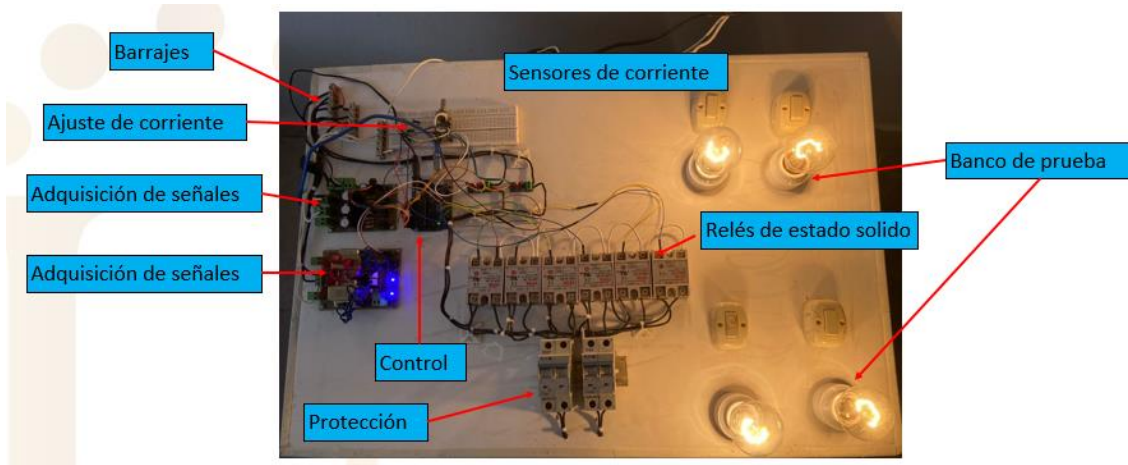
Fuente: Elaboración propia.

En la imagen se muestra el cable de continuidad del servicio, este es el encargado de llevarle la señal al Arduino si hay o no, una interrupción de energía.

En la figura 53 se muestra el sistema funcionando de forma normal:

**Figura 53**

*Funcionamiento normal*



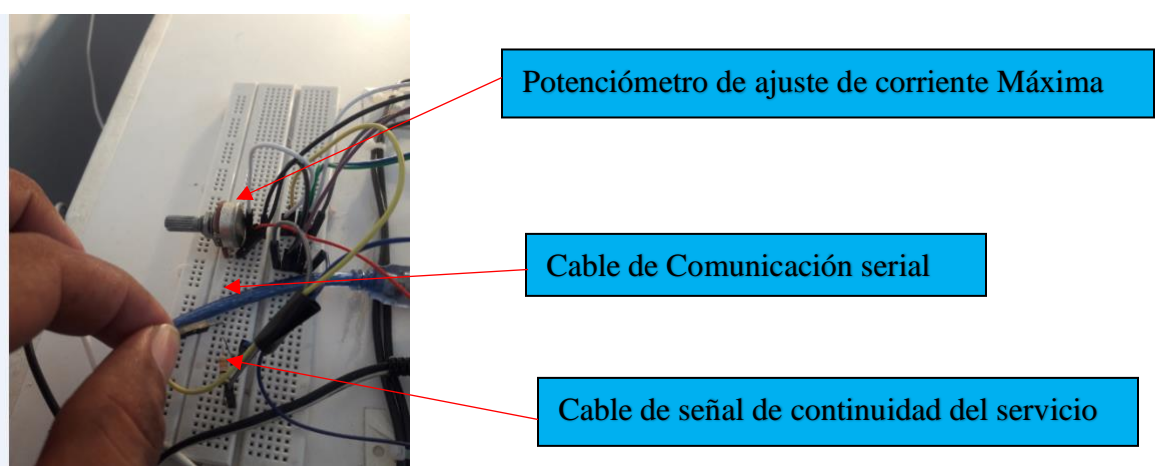
Fuente: Elaboración propia.

**Prueba de Corte de Energía o Micro Corte**

En la figura 54 se aplica una falla de corte de energía o micro-corte:

**Figura 54**

*Activación de falla de energía o micro-corte*



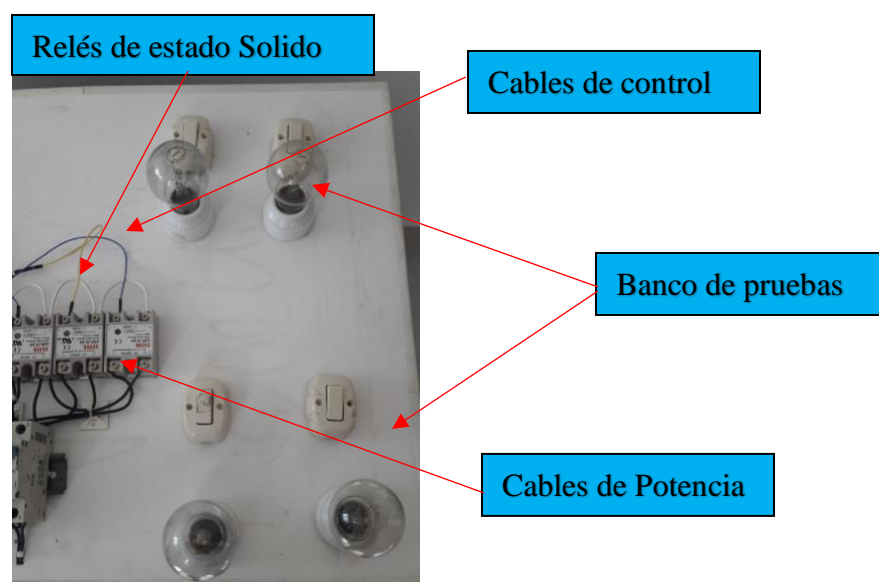
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 54, se desconecta del protoboard el cable de señal de continuidad del servicio, para simular la ausencia de energía.

En la figura 55 se muestra la protección de corte de energía que tiene el sistema:

### Figura 55

*Protección de corte de energía o micro-corte (activación)*



Fuente: Elaboración propia.

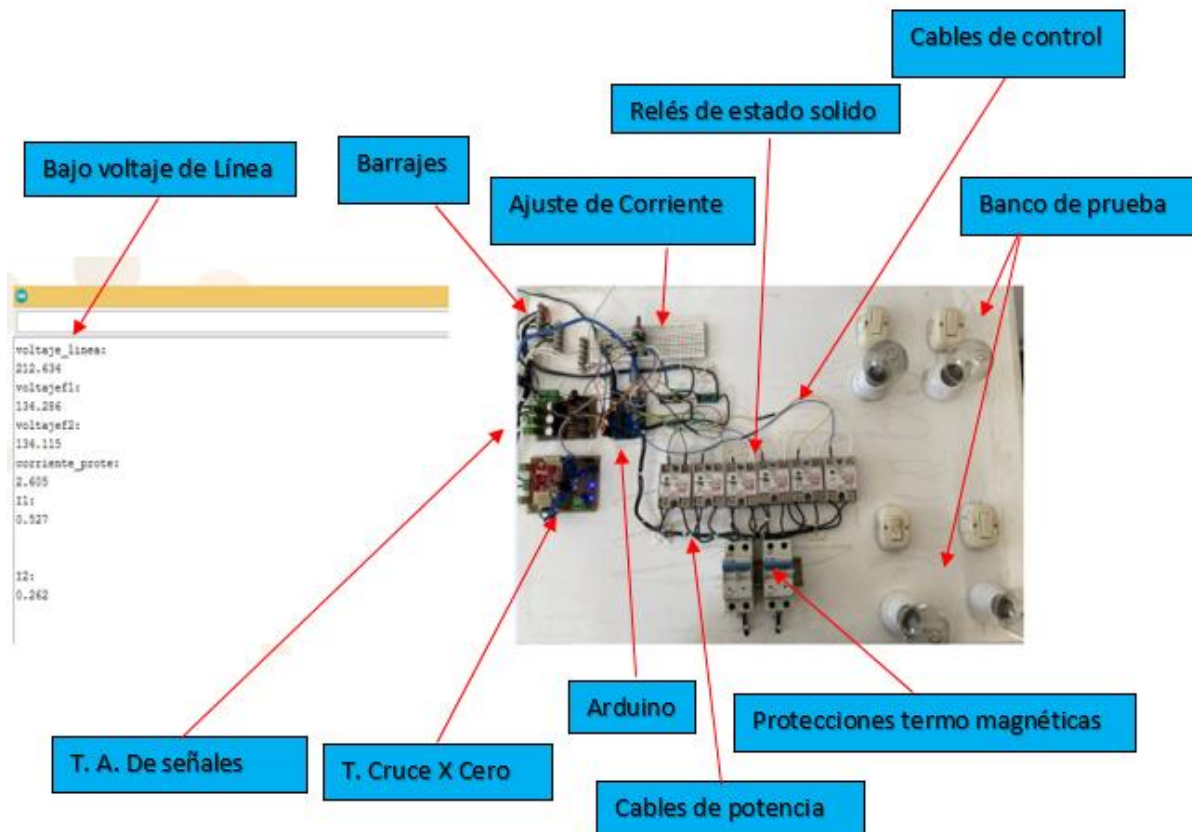
En la figura 55 se observa la activación de la protección de micro corte o corte de energía al detectar el dispositivo una interrupción de energía. El sistema de control desactiva los relés de estado sólido y por ende la energía al banco de prueba.

### Prueba de Protección de Subvoltaje

En la figura 56 se observa la activación de protección de subvoltaje:

**Figura 56**

*Protección de subvoltaje de línea.*



Fuente: Elaboración propia.

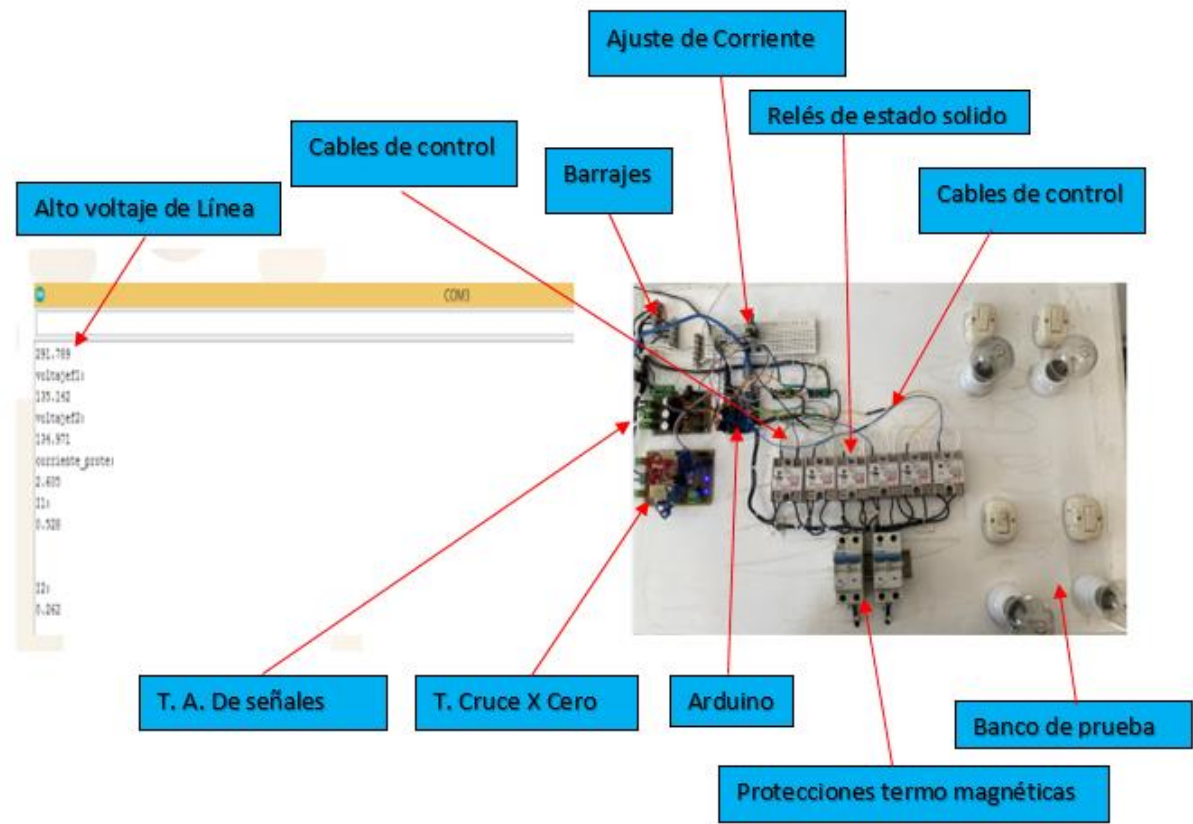
En la figura 56 se observa como el dispositivo entra en modo protección de falla de subvoltaje, al detectar el dispositivo un nivel de voltaje de línea bajo, desactiva la energía del banco de prueba a través de los relés de estado sólido.

### **Prueba de Protección de Sobrevoltaje**

En la figura 57 se muestra la activación de protección a sobrevoltaje:

**Figura 57**

*Protección de sobrevoltaje*



Fuente: Elaboración propia.

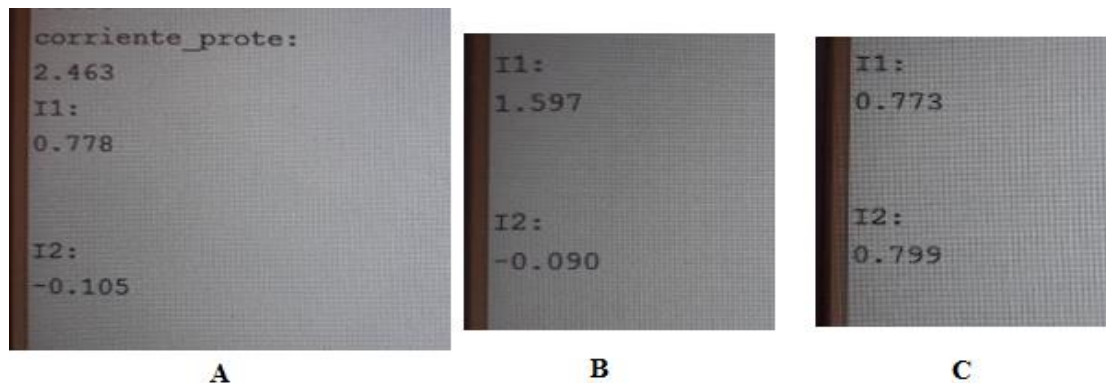
En la figura 57 se observa como el dispositivo entra en modo protección de falla de Sobrevoltaje, al detectar el dispositivo un nivel de voltaje de línea alto, desactiva la energía del banco de prueba a través de los relés de estado sólido.

**Prueba de Balanceo de Carga**

En la figura 58 se muestra la activación del balanceo inicial condición 1 ( $I_1 > 1.0$  &  $I_2 < 1.0$ ):

## Figura 58

### Activación del (des)balance inicial

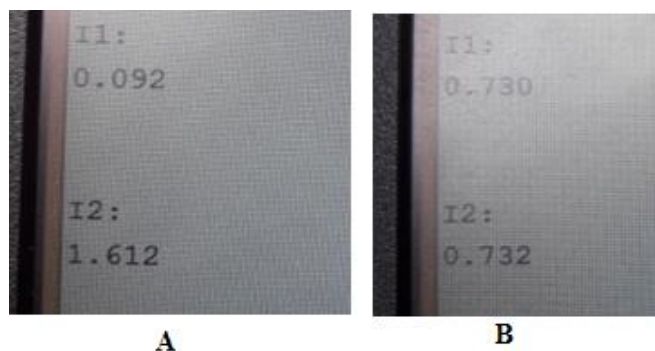


Nota: A) Se observa la activación de la carga uno, conectada al barraje uno, mostrando una corriente I1 inicial de 0.778 amperios, mientras las carga del barraje dos están desactivadas. B) Se puede apreciar que se enciende otra carga en el barraje de la corriente uno, por tal razón, aumenta la corriente I1. C) Se muestra la activación el balanceo de carga ya que la carga total conectado al barraje uno se reparte con el barraje 2. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 60 se muestra activación balanceo condición dos:

## Figura 59

### Activación balanceo II



Nota: A) Se observa que el barraje de la corriente I2 cumple la condición  $I_1 < 1.0$  &&  $I_2 > 1.0$ .

B) Se muestra cómo se balancea automáticamente el sistema. Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

Se logró diseñar e implementar un prototipo tablero de distribución capaz de proteger los equipos conectados a la red eléctrica domiciliaria de los sobrevoltajes, subvoltaje, micro cortes y cortes de energía, ocasionadas por fenómenos externos o internos en las redes de distribución eléctrica. Para el desarrollo de este trabajo se requirió de un amplio conocimiento de diversos campos tanto de la ingeniería eléctrica y la ingeniería electrónica, específicamente en la calidad de energía en el área de la ingeniería eléctrica y el control y potencia en la ingeniería electrónica.

Para el diseño y desarrollo del sistema de control se utilizó una placa de hardware libre, llamada Arduino, específicamente la tarjeta de Arduino Uno, donde se desarrolló la programación para la protección de micro-cortes y cortes de energía, protección para sobrevoltajes, subvoltajes, y balanceo de cargas. Para el sensado de las diferentes variables tales como corriente, voltaje se logró implementar un hardware con el objeto de acondicionar de las señales.

También se diseñó y construyó un sistema de potencia en base de relés de estado sólido, los cuales son controlados desde la tarjeta Arduino, donde su función principal es activar o desactivar los breakers termomagnéticos una vez el sistema detecte un sobrevoltaje o un subvoltaje, micro corte o corte de energía.

Una vez construido el prototipo se le aplicaron cuatro pruebas para observar y evaluar su funcionamiento. La primera prueba fue la de falla por corte o micro corte de energía, en esta se simuló un corte de energía inferior a un segundo obteniendo un tiempo de respuesta inmediato del dispositivo. La segunda prueba fue la de falla por subvoltaje esta se simuló por medio de un divisor de tensión resistivo obteniendo por parte del dispositivo un tiempo de respuesta satisfactorio inferior a 100 mili segundos. La tercera prueba se realizó para evaluar la respuesta

del equipo para la protección de sobrevoltaje, esta se realizó utilizando un autotransformador elevador de 120V a 290V, en la cual se obtuvo un tiempo de respuesta inferior a 100 milisegundos. Por último, se realizó la prueba de balancear las cargas monofásicas, para ella se utilizó un banco de pruebas construido para tal fin. La prueba consistió en la conexión de dos de los bombillos a una misma fase, entonces, el dispositivo equilibró las cargas colocando cada bombillo en la fase correspondiente. Con el desarrollo de estas pruebas se logró demostrar y evaluar el buen funcionamiento del sistema como parte de una solución integral, capaz de proteger y asegurar una correcta gestión y calidad de la energía eléctrica.

Por otro lado, tras el trabajo realizado, ha quedado demostrado el diseño y construcción de un dispositivo funcional capaz de sensar cualquiera de las perturbaciones mencionadas anteriormente, tomando en forma autónoma la decisión adecuada en tiempo real, para proteger cualquier dispositivo o aparato eléctrico conectado a la red de distribución eléctrica.

Finalmente, quedan las bases de este trabajo abiertas para futuras investigaciones sobre el tema, y así realizarle mejoras al dispositivo como son: Balanceo de cargas en todo momento de operación. Mayor rapidez de accionamiento de la protección ante las elevaciones o bajadas de tensión. Instalaciones de equipos de respaldo como inversores o generadores eléctricos. Realizar monitoreo y accionamiento remoto. Realizar programación de eventos. Realizar monitoreo de energía y potencia eléctrica.

## Referencias

Aprender sobre la electrónica (2018). Tipos de capacitadores.

<https://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Tipos-de-capacitores.php>

Aprender sobre la electrónica (2018). *¿Qué es un seguidor de voltaje?*

<http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Seguidor-de-voltaje.php>

Boylestad, R. (1998). *Electrónica teoría de circuitos*. Prentice Hall.

Cervantes Roa, O. M. (2014). *Metodología de medición de calidad de energía eléctrica en base a normas nacionales e internacionales para la Universidad de la Costa – CUC* [tesis]. Universidad de la Costa.

Chapman, S. (2005). *Máquinas Eléctricas*. McGrawhill.

Dougherty, D. (9 de junio de 2017). *Arduino gratis*. <https://makezine.com/2017/06/09/free-arduino/>

Ecured (2017). *Transistor*. <https://www.ecured.cu/Transistor>

Ecured (2017.). *Optocoplador*. [https://www.ecured.cu/Optoacoplador\\_LTV-817](https://www.ecured.cu/Optoacoplador_LTV-817)

El Heraldo (3 de febrero de 2012). *Electricaribe reconoce que sobrecarga dañó electrodomésticos*. <https://www.elheraldo.co/local/electricaribe-reconoce-que-sobrecarga-dano-electrodomesticos-55683>

Electro Industria (septiembre de 2020). *¿Qué es un relés de estado sólido?*

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3691&ni=que-es-un-rele-de-estado-solido>

Electronib (2018.). *LF411-Amplificador operacional*. <https://electronilab.co/tienda/lf411-amplificador-operacional/>

- Emtp (2016.). Definición y simbología de componentes eléctricos. *Apunte*, 1.  
[http://www.matte.cl/wp-content/uploads/2016/11/Apunte-N%C2%B01\\_Definicio%CC%81n-y-Simbologia.pdf](http://www.matte.cl/wp-content/uploads/2016/11/Apunte-N%C2%B01_Definicio%CC%81n-y-Simbologia.pdf)
- Energía Solar (2019). *Tensión nominal - Concepto, definición y ejemplo*. <https://solar-energia.net/electricidad/corriente-electrica/voltaje/tension-nominal>
- Farina, A. L. (2019). Tableros Eléctricos. *Ingeniería eléctrica*, 44-47.
- Fluke. (9 de mayo de 2021). *¿Qué es la capacitancia?* <https://www.fluke.com/es-co/informacion/blog/electrica/que-es-la-capacitancia>
- Freepng (2020.). Regulador de voltaje Electrónico símbolo de la diferencia de potencial Eléctrico diagrama de Cableado diagrama de Circuito - símbolo Imagen de Png.  
<https://www.freepng.es/png-2qg2vt/>
- Ley 142 (1994). *Servicios públicos domiciliarios. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones*. Minenergía.  
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/670382/LEY142DE1994.pdf/68f0c21d-fd78-4242-b812-a6ce94730bf1>
- López Fuentes, A. V. y Viteri Morales, G. A. (2010). Aplicación de fusibles e interruptores termo magnéticos [tesis]. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Minenergía (2017). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE*.  
<https://www.minenergia.gov.co/retie>
- Naylamp (15 de agosto de 2019). *Tutorial sensor de corriente ACS712*.  
[https://naylampmechatronics.com/blog/48\\_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html](https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html)

Naylamp (2018.). *Tutorial sensor de corriente AC no Invasivo SCT-013*.

[https://naylampmechatronics.com/blog/51\\_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html](https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-sct-013.html)

Poyato, R. (2019.). *Calidad eléctrica y pérdidas de energía en el cableado. Fluke*.

*¿Qué símbolo usar para un relé de estado sólido en un esquema? (s.f.)*.

<https://electronica.guru/questions/40706/que-simbolo-usar-para-un-rele-de-estado-solido-en-un-esquema>

Rodríguez, A. (2012). *Instrumentos para tableros*.

[https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes\\_Finales\\_Investigacion/IF\\_DICIEMBRE\\_2012/IF\\_RODRIGUEZ%20ABURTO\\_FIEE/LIBRO%20INSTRUMENTOS%20PARA%20TABLEROS.pdf](https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/IF_DICIEMBRE_2012/IF_RODRIGUEZ%20ABURTO_FIEE/LIBRO%20INSTRUMENTOS%20PARA%20TABLEROS.pdf)

Ryctel. (2017). *Tableros de distribución*. <http://ryctel.com/productos/distribucion-electrica/baja-tension/distribucion/>

Sánchez Cortés, M. A. (2009). *Calidad de la energía eléctrica. Instituto Tecnológico de Puebla, México, 696-703*.

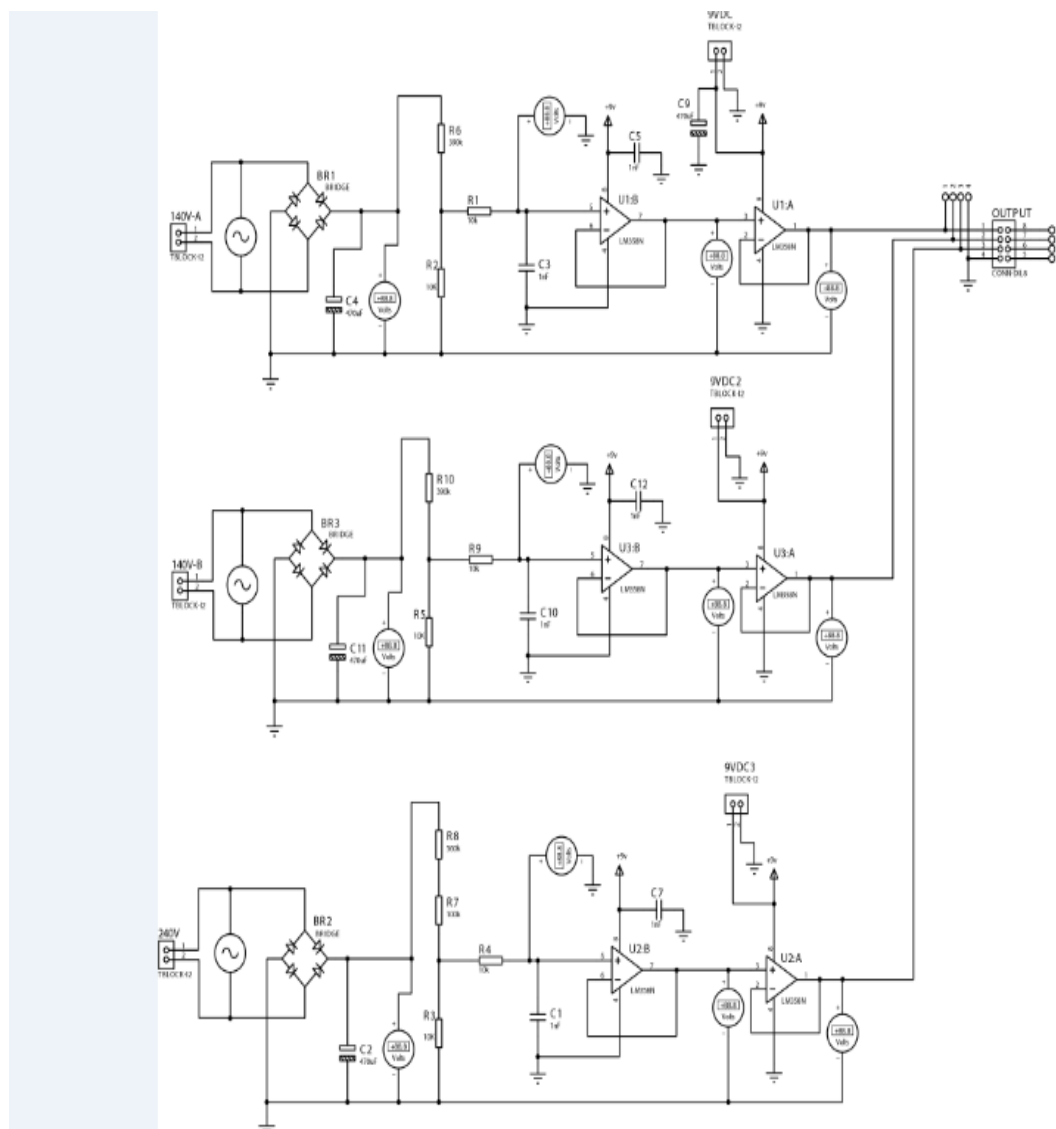
*Símbolos eléctricos y electrónicos básicos (s.f.)*. <https://www.simbologia->

[electronica.com/simbologia-electrica-electronica/simbolos-electricos-electronicos-basicos.htm](https://www.simbologia-electrica-electronica/simbolos-electricos-electronicos-basicos.htm)

Torrente, O. (2010). *Arduino curso Práctico de formación*. Alfaomega.

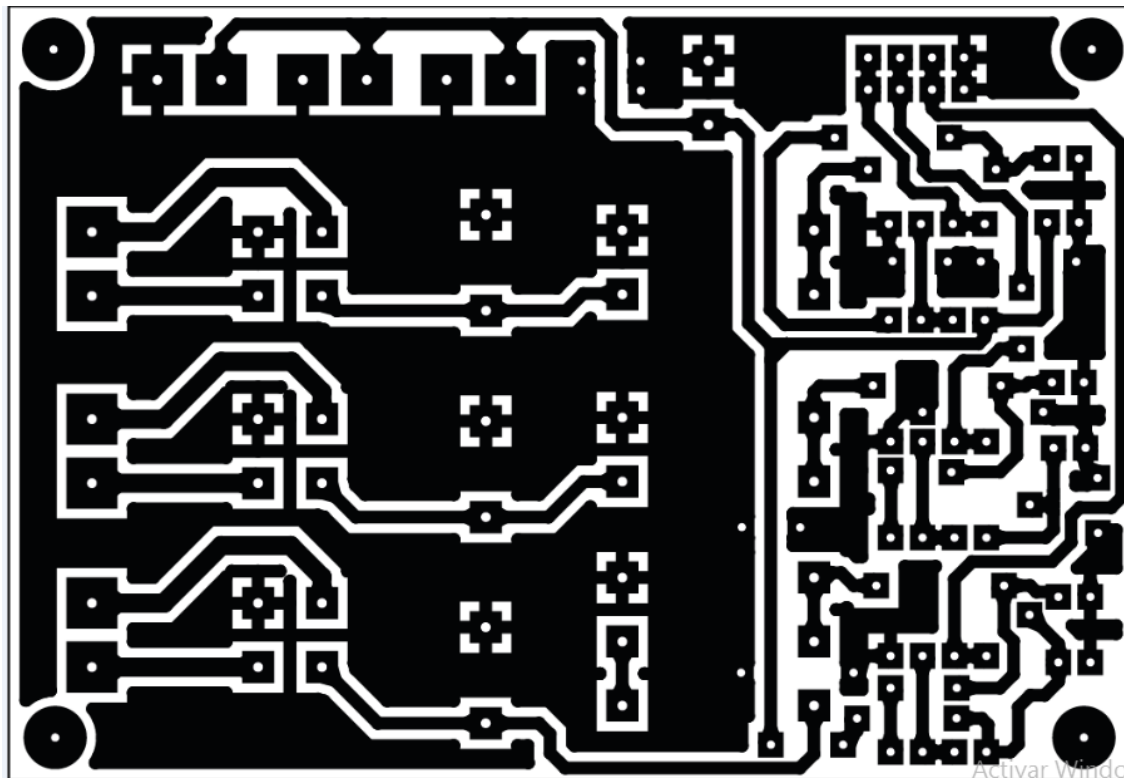
## Apéndices

### Apéndice A. Diagrama de tarjeta de adquisición de señales de voltaje



Fuente: Elaboración propia.

**Apéndice B.** PCB de tarjeta de adquisición de señales de voltaje



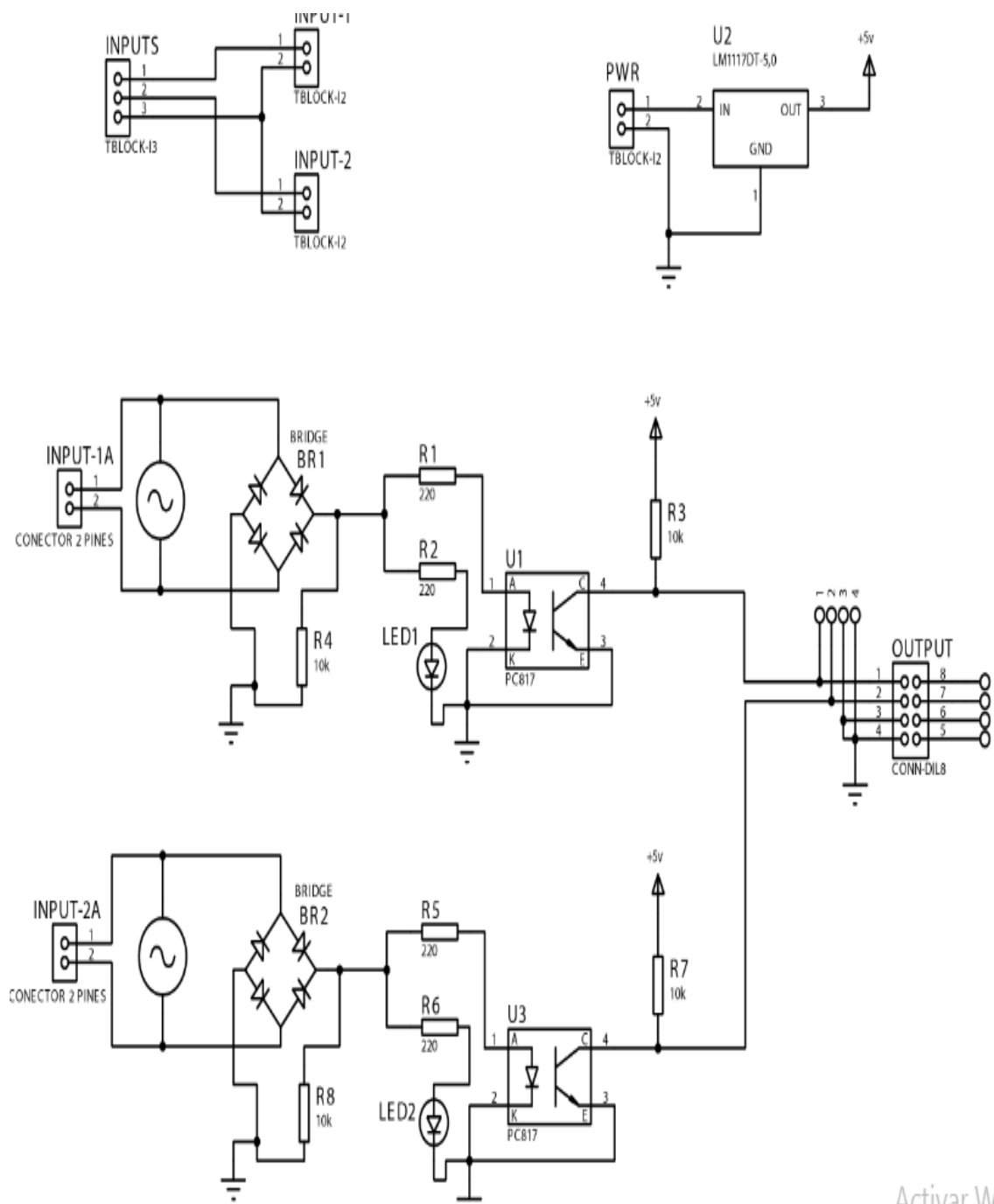
Fuente: Elaboración propia.

### Apéndice C. Modelo 3D de tarjeta de adquisición de señales de voltaje



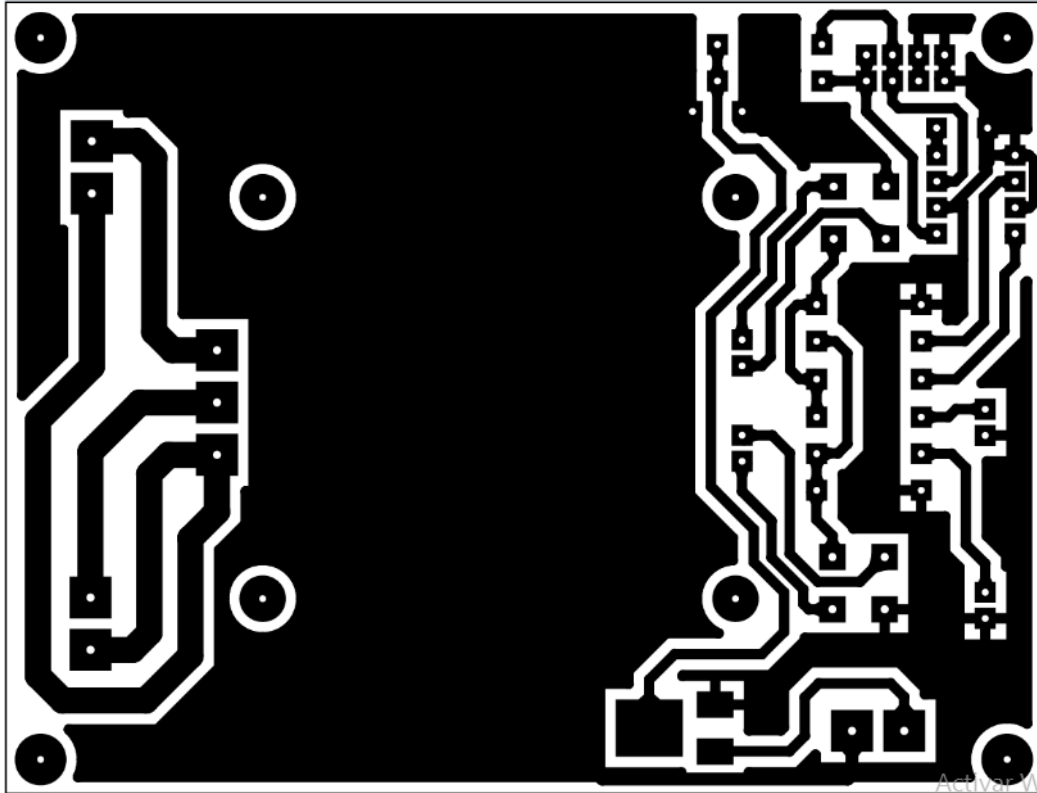
Fuente: Elaboración propia.

## Apéndice D. Diagrama de tarjeta de cruce por cero



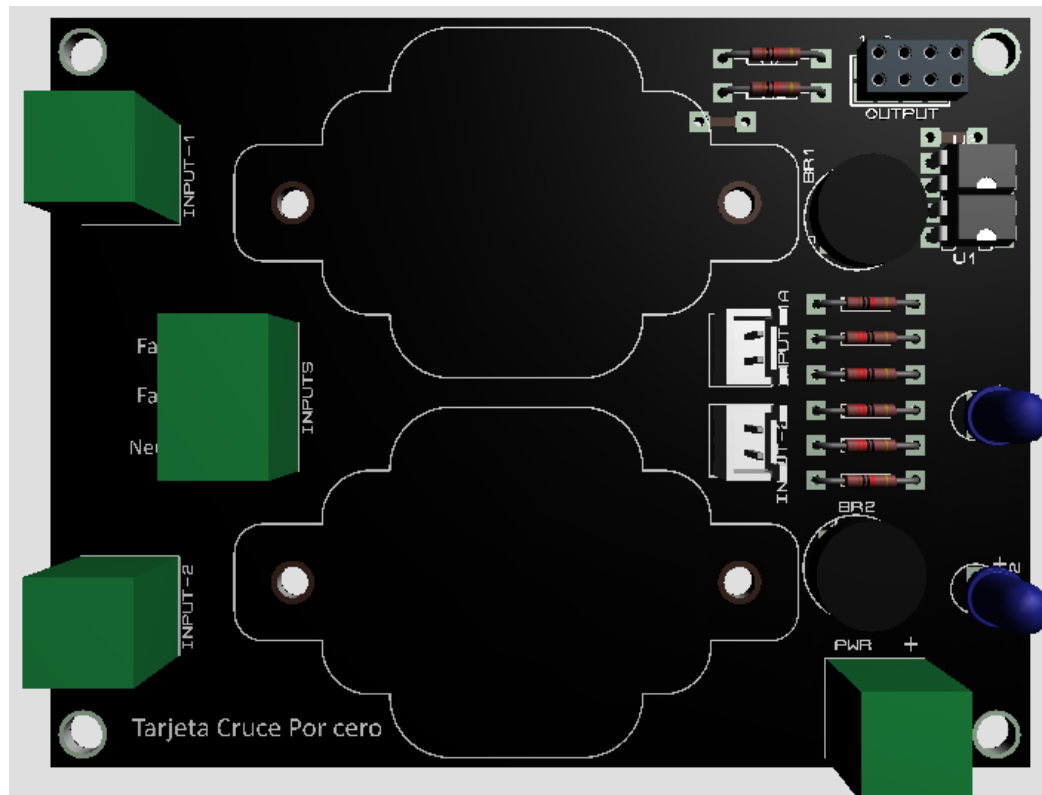
Fuente: Elaboración propia.

Apéndice E. PCB de tarjeta de cruce por cero



Fuente: Elaboración propia.

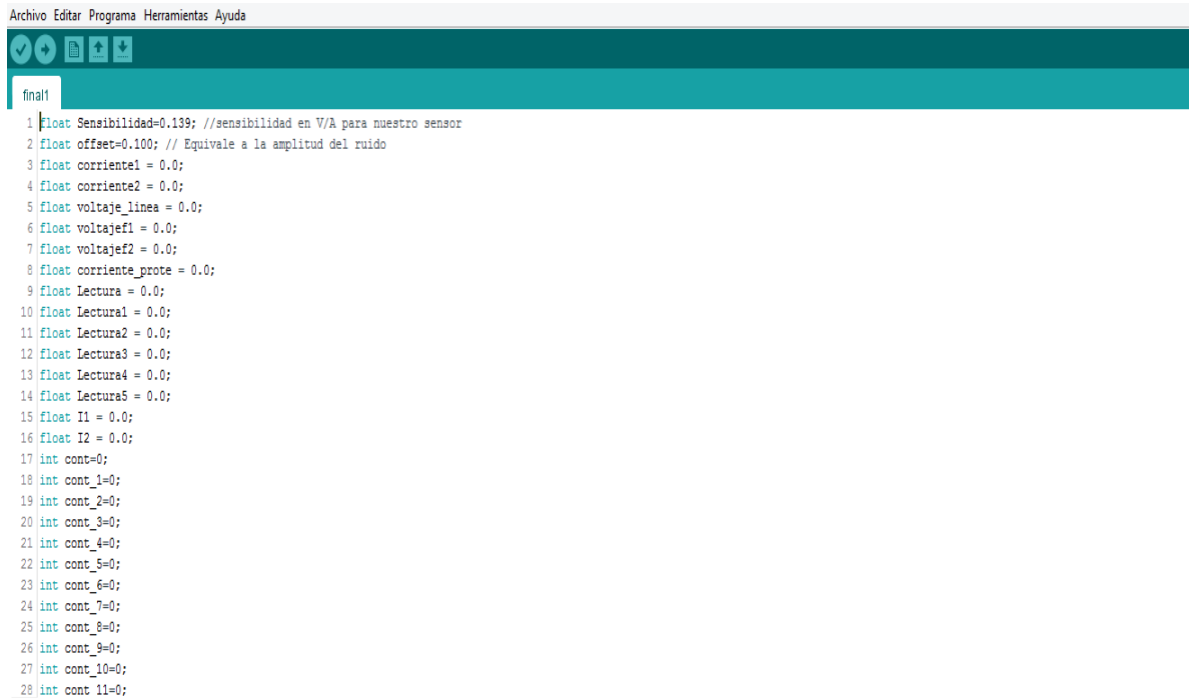
## Apéndice F. Modelo 3D de tarjeta de cruce por cero



Fuente: Elaboración propia.

## Apéndice G. Código en Arduino del sistema de control

A continuación, se verán unos pantallazos del código del programa que se han tomado para este trabajo.



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
finalt
1 float Sensibilidad=0.139; //sensibilidad en V/A para nuestro sensor
2 float offset=0.100; // Equivale a la amplitud del ruido
3 float corriente1 = 0.0;
4 float corriente2 = 0.0;
5 float voltaje_linea = 0.0;
6 float voltaje1 = 0.0;
7 float voltaje2 = 0.0;
8 float corriente_prote = 0.0;
9 float Lectura = 0.0;
10 float Lectura1 = 0.0;
11 float Lectura2 = 0.0;
12 float Lectura3 = 0.0;
13 float Lectura4 = 0.0;
14 float Lectura5 = 0.0;
15 float I1 = 0.0;
16 float I2 = 0.0;
17 int cont=0;
18 int cont_1=0;
19 int cont_2=0;
20 int cont_3=0;
21 int cont_4=0;
22 int cont_5=0;
23 int cont_6=0;
24 int cont_7=0;
25 int cont_8=0;
26 int cont_9=0;
27 int cont_10=0;
28 int cont_11=0;
```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda



final1

```

28 int cont_11=0;
29 int cont_12=0;
30 int cont_13=0;
31 int cont_14=0;
32 int cont_15=0;
33 int contx=0;
34 int conty=0;
35 int contz=0;
36 int contw=0;
37 int contA=0;
38 int contB=0;
39 int contD=0;
40 int contE=0;
41 int contF=0;
42 int contG=0;
43 int contH=0;
44 int contP=0;
45 int proteccion=5;
46 int contM =0;
47
48
49 void setup() {
50   Serial.begin(9600);
51   pinMode(2,INPUT);
52   pinMode(3,OUTPUT);
53   pinMode(4,OUTPUT);
54   pinMode(5,OUTPUT);
55   pinMode(6,OUTPUT);

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda



final1

```

55   pinMode(6,OUTPUT);
56   pinMode(7,OUTPUT);
57   pinMode(8,OUTPUT);
58   pinMode(9,OUTPUT);
59   pinMode(10,INPUT);
60   pinMode(11,OUTPUT);
61   pinMode(12,INPUT);
62   pinMode(13,OUTPUT);
63   digitalWrite(13,0);
64   digitalWrite(11,0);
65   digitalWrite(6,0);
66   digitalWrite(7,0);
67   digitalWrite(8,0);
68   digitalWrite(9,0);
69
70 }
71 void Tomar_Muestras() {
72   // Verificando los primeros parametros
73   Lectura2 = analogRead(A2);
74   voltaje_linea = (50*(5.0*Lectura2)/1023);
75   Lectura3 = analogRead(A3);
76   voltaje1= (28*(5.0*Lectura3)/1023);
77   Lectura4 = analogRead(A4);
78   voltaje2= (28*(5.0*Lectura4)/1023);
79   Lectura5 = analogRead(A5);
80   corriente_prote = (5.0*Lectura5)/1023;
81 }
82 void Leer_Corrientes(){

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Subir

final1

```

82 void Leer_Corrientes(){
83 float Ip1=get_corriente1();//obtenemos la corriente pico
84 I1=Ip1*0.707; //Intensidad RMS = Ipico/(2^1/2)
85 float Ip2=get_corriente2();//obtenemos la corriente pico
86 I2=Ip2*0.707; //Intensidad RMS = Ipico/(2^1/2)
87 }
88
89 void Presentar_Corrientes(){
90 Serial.println("I1: ");
91 Serial.println(I1,3);
92 Serial.println(" ");
93 Serial.println(" ");
94 Serial.println("I2: ");
95 Serial.println(I2,3);
96 Serial.println(" ");
97 Serial.println(" ");
98 delay(2000);
99 }
100
101 float get_corriente1()
102 {
103 float voltajeSensor1;
104 float corriente1=0;
105 long tiempo=millis();
106 float Imax1=0;
107 float Imin1=0;
108 while(millis()-tiempo<500)//realizamos mediciones durante 0.5 segundos
109 {

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Subir

final1

```

109 {
110 voltajeSensor1 = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);//lectura del sensor
111 corriente1=0.9*corriente1+0.1*((voltajeSensor1-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la corriente
112 if(corriente1>Imax1) Imax1=corriente1;
113 if(corriente1<Imin1) Imin1=corriente1;
114 }
115 return(((Imax1-Imin1)/2)-offset);
116 }
117
118 float get_corriente2(){
119
120 float voltajeSensor2;
121 float corriente2=0;
122 long tiempo1=millis();
123 float Imax2=0;
124 float Imin2=0;
125 while(millis()-tiempo1<500)//realizamos mediciones durante 0.5 segundos
126 {
127 voltajeSensor2 = analogRead(A1) * (5.0 / 1023.0);//lectura del sensor
128 corriente2=0.9*corriente2+0.1*((voltajeSensor2-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la corriente
129 if(corriente2>Imax2) Imax2=corriente2;
130 if(corriente2<Imin2) Imin2=corriente2;
131 }
132 return(((Imax2-Imin2)/2)-offset);
133 }
134
135 void Presentar() {
136 // Mostrar en pantalla

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Subir

final1

```

136 // Mostrar en pantalla
137 Serial.println("corriente1:");
138 Serial.println(corriente1,3);
139 Serial.println("corriente2:");
140 Serial.println(corriente2,3);
141 Serial.println("voltaje_linea:");
142 Serial.println(voltaje_linea,3);
143 Serial.println("voltajef1:");
144 Serial.println(voltajef1,3);
145 Serial.println("voltajef2:");
146 Serial.println(voltajef2,3);
147 Serial.println("corriente_prote:");
148 Serial.println(corriente_prote,3);
149 }
150
151 void Encendido(){ // Inicialización
152 while(conty<1){
153   if(digitalRead(12)==1){ // Cruce x cero de la corriente 1
154     cont=cont+1;
155     if (cont<2){
156       digitalWrite(13,1); // Carga conectada a barraje de corriente 1
157       digitalWrite(11,1); // Carga conectada a barraje de corriente 1
158       digitalWrite(6,0); // Pin de conmutación de Barraje de corriente 2 a coriente 1
159       contx = 1;
160       delay(5);
161     }
162   }
163   if(digitalRead(10)==1&&contx == 1 ){ // Cruce por cero de la corriente 2

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Subir

final1

```

163   if(digitalRead(10)==1&&contx == 1 ){ // Cruce por cero de la corriente 2
164     cont_1=cont_1+1;
165     if (cont_1<2){
166       digitalWrite(8,1); // Carga conectada a barraje de corriente 2
167       digitalWrite(9,1); // Carga conectada a barraje de corriente 2
168       digitalWrite(7,0); // Pin de conmutacion de Barraje de corriente a 1 a Barraje de corriente 2
169       contw = 1;
170     }
171   }
172   if(contx==1 && contw ==1){ // desactiva el ciclo while para salir de balnceo1
173     conty = 1;
174   }
175 }
176 }
177 void Balanceo2(){
178 while(contB<1){
179 if(digitalRead(12)==1){ // cruce x cero de la corriente 1
180   cont_2=cont_2+1;
181   if (cont_2<2){
182     digitalWrite(13,0); // desactiva el Pin 13 de la corriente 1
183     digitalWrite(11,1); // Mantiene activo el pin 11
184     digitalWrite(6,0); // Mantiene inactivo el pin 6
185     cont_3= 1;
186     delay(5);
187   }
188 }
189 if(digitalRead(10)==1 && cont_3==1){ // Cruce x cero de la corriente 2
190   cont 4= cont 4+1;

```

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
final1
190   cont_4= cont_4+1;
191   if (cont_4 < 2){
192       digitalWrite(7,1); // Activa el pin 7 que es de la corriente 2
193       digitalWrite(8,1); // Mantiene activo el pin 8 de la corriente 2
194       digitalWrite(9,1); // Mantiene activo el pin 9 de la corriente2
195       contA = 1;
196   }
197   }
198   if(cont_3==1&& contA==1){ // Sale del bucle de balanceo2
199       contB = 1;
200   }
201   }
202   }
203   }
204 }
205 void CambioT(){
206     Cambio();
207     Cambio1();
208     Cambio2();
209     Cambio3();
210     Cambio4();
211 }
212 void Cambio(){
213     cont=0;
214     cont_1=0;
215     conty=0;
216     contx=0;
217     contw=0;

```

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Subir
final1
217     contw=0;
218 }
219 void Cambio1(){
220     contB=0;
221     cont_2=0;
222     cont_3=0;
223     contA=0;
224     cont_4=0;
225 }
226 void Cambio2(){
227     cont_5=0;
228     cont_6=0;
229     cont_7=0;
230     cont_8=0;
231     cont_9=0;
232 }
233 }
234 void Cambio3(){
235     contD=0;
236     contE=0;
237     cont_10=0;
238     cont_11=0;
239     cont_12=0;
240 }
241 void Cambio4(){
242     contF=0;
243     contG=0;
244     cont_13=0;

```

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
final1
244     cont_13=0;
245     cont_14=0;
246     cont_15=0;
247 }
248
249 void Balanceo3(){ // Inicialización
250 while(cont_5<1){
251 if(digitalRead(10)==1){
252     cont_6=cont_6+1;
253     if (cont_6<2){
254         digitalWrite(7,0);
255         delay(5);
256         cont_7 = 1;
257     }
258 }
259
260
261 if(digitalRead(12)==1&&cont_7 == 1 ){
262     cont_8=cont_8+1;
263     if (cont_8<2){
264         digitalWrite(13,1);
265         cont_9 = 1;
266     }
267
268 }
269
270 if(cont_7==1 && cont_9 ==1){
271     cont 5 = 1;

```

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Subir
final1
271     cont_5 = 1;
272 }
273
274 }
275 }
276
277 void Balanceo4(){
278     while(contD<1){
279 if(digitalRead(10)==1){
280     cont_10=cont_10+1;
281     if (cont_10<2){
282         digitalWrite(8,0);
283         digitalWrite(9,1);
284         digitalWrite(7,0);
285         cont_11= 1;
286         delay(5);
287     }
288 }
289 if(digitalRead(12)==1 && cont_11==1){
290     cont_12= cont_12+1;
291     if (cont_12 < 2){
292         digitalWrite(6,1);
293         digitalWrite(13,1);
294         digitalWrite(11,1);
295         contE = 1;
296     }
297 }
298 if(cont 11==1&& contE==1){

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda



final1

```

298   if(cont_11==1&& contE==1){
299       contD = 1;
300   }
301
302   }
303
304 }
305 void Balanceo5(){
306     while(contF<1){
307 if(digitalRead(12)==1){
308     cont_13=cont_13+1;
309     if (cont_13<2){
310         digitalWrite(6,0);
311         digitalWrite(13,1);
312         digitalWrite(11,1);
313         cont_14= 1;
314         delay(5);
315     }
316 }
317 if(digitalRead(10)==1 && cont_14==1){
318     cont_15= cont_15+1;
319     if (cont_15 < 2){
320         digitalWrite(9,1);
321         digitalWrite(8,1);
322         digitalWrite(7,0);
323         contG = 1;
324     }
325 }

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda



final1

```

325 }
326 if(cont_14==1&& contG==1){
327     contF = 1;
328 }
329
330
331 }
332
333 }
334 void loop() {
335     Tomar_Muestras(); //Primera lectura
336     Presentar();
337     if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea > 190 && voltaje_linea < 245 && voltaje_f1 > 90 && voltaje_f1 < 135 && voltaje_f2 > 90 && voltaje_f2 < 135){
338     proteccion =0;
339     CambioT();
340     contz = 0;
341     contP=0;
342     contM=0;
343
344     delay(10);
345 }
346 while(proteccion == 0){ // ciclo principal
347     if(contz < 1){
348         Encendido(); // se activa las 4 salidas
349         contz = 1;
350         contM =1;
351     }
352     Leer_Corrientes();

```

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Subir
finalt
352 Leer_Corrientes();
353 Presentar_Corrientes();
354
355 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote)
356 Tomar_Muestras();
357 Leer_Corrientes();
358 Presentar();
359 Presentar_Corrientes();
360 }
361 else{
362 proteccion=1;
363 }
364 if(I1 > 0 && I2 < 0.4 && digitalRead(4) ==1){
365 while(contP <10 && contM ==1){
366 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote){
367 Tomar_Muestras();
368 Leer_Corrientes();
369 Presentar();
370 Presentar_Corrientes();
371 }
372 else{
373 contM =2;
374 proteccion=1;
375 }
376 Balanceo2();
377 contP = contP+1;
378
379 while(I1 >0 && I2 >0 && contM == 1){

```

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Subir
finalt
379 while(I1 >0 && I2 >0 && contM == 1){
380
381 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote)
382 Tomar_Muestras();
383 Leer_Corrientes();
384 Presentar();
385 Presentar_Corrientes();
386 }
387 else{
388 contM =2;
389 proteccion=1;
390 }
391 }
392
393 while(I1== 0 && I2==0 && contM == 1){
394
395 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote)
396 Tomar_Muestras();
397 Leer_Corrientes();
398 Presentar();
399 Presentar_Corrientes();
400 }
401 else{
402 contM =2;
403 proteccion=1;
404 }
405 }
406 }

```

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Subir
final1
406 }
407     contP = 0;
408     contM = 1;
409     CambioT();
410
411     while(contP< 10 && contM ==1){
412         if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_pr
413 Tomar_Muestras();
414 Leer_Corrientes();
415 Presentar();
416 Presentar_Corrientes();
417 }
418 else{
419     contM =2;
420     proteccion=1;
421 }
422 Balanceo3();
423 contP = contP+1;
424 delay(10);
425 }
426     contP = 0;
427     contM = 1;
428     CambioT();
429 }
430 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote){
431 Tomar_Muestras();
432 Leer_Corrientes();
433 Presentar();

```

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Subir
final1
433 Presentar();
434 Presentar_Corrientes();
435 }
436 else{
437     proteccion=1;
438 }
439 if( I1 <0.4 && I2 >0 && digitalRead(4) == 1){
440     while(contP <10 && contM ==1){
441 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote){
442 Tomar_Muestras();
443 Leer_Corrientes();
444 Presentar();
445 Presentar_Corrientes();
446 }
447 else{
448     contM =2;
449     proteccion=1;
450 }
451 Balanceo4();
452 contP = contP+1;
453 digitalWrite(3,0);
454     while(I1 >0 && I2 >0 && contM == 1){
455         digitalWrite(3,1);
456 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote).
457 Tomar_Muestras();
458 Leer_Corrientes();
459 Presentar();
460 Presentar_Corrientes();

```

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
finalf
460 Presentar_Corrientes();
461 }
462 else{
463     contM =2;
464     proteccion=1;
465 }
466 }
467 digitalWrite(3,0);
468 while(I1 == 0 && I2 ==0 && contM == 1){
469     digitalWrite(3,1);
470     if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote)
471     Tomar_Muestras();
472     Leer_Corrientes();
473     Presentar();
474     Presentar_Corrientes();
475 }
476 else{
477     contM =2;
478     proteccion=1;
479 }
480 }
481 }
482     contP = 0;
483     contM = 1;
484     while(contP <10 && contM ==1){
485     if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote){
486     Tomar_Muestras();
487     Leer_Corrientes();

```

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Subir
finalf
485 if(digitalRead(2)==1 && voltaje_linea> 2.5&&voltaje_linea< 3.5 && voltajef1 > 2.5 && voltajef1 < 3.5 && voltajef2 > 2.5 && voltajef2 < 3.5 && I1 < corriente_prote && I2 < corriente_prote){
486 Tomar_Muestras();
487 Leer_Corrientes();
488 Presentar();
489 Presentar_Corrientes();
490 }
491 else{
492     contM =2;
493     proteccion=1;
494 }
495 Balanceo5();
496     contP = contP+1;
497 }
498 }
499     contP = 0;
500     contM = 1;
501     CambioT();
502 }
503 }
504 digitalWrite(13,0);
505 digitalWrite(11,0);
506 digitalWrite(6,0);
507 digitalWrite(7,0);
508 digitalWrite(8,0);
509 digitalWrite(9,0);
510 }
511 }
512

```