

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA REGULACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTROMECAÁNICA.**

FRIXON ALEXANDER CAÑIZARES ARDILA

frixon.canizares@epn.edu.ec

LUIS FERNANDO MERA OÑA

luis.mera02@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. PABLO ANDRÉS PROAÑO CHAMORRO

pablo.proano@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA MSC.

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2020

DECLARACIÓN

Nosotros, FRIXON ALEXANDER CAÑIZARES ARDILA Y LUIS FERNANDO MERA OÑA, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación –COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, e intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaremos toda información técnica pertinente. En el caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociara los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.

Firma:



Frixon Alexander Cañizares Ardila
C.I: 1726376120
Teléfono: 0969876325
E-mail: frixon.canizares@epn.edu.ec



Luis Fernando Mera Oña
C.I: 1754683629
Teléfono: 0985937861
E-mail: luis.mera02@epn.edu.ec

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el Frixon Alexander Cañizares Ardila y Luis Fernando Mera Oña, bajo nuestra supervisión.

Ing. Pablo Andrés Proaño Chamorro
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Carlos Orlando Romo Herrera
CODIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mi familia por estar conmigo y apoyarme en cada decisión que he tomado y decirles que sin ellos no habría sido posible llegar hasta donde estoy, ya que son un pilar fundamental en mi vida.

A mis amigos por todos los momentos que hemos pasado juntos y por acompañarme a lo largo de mi formación profesional.

A la Escuela Politécnica Nacional por haberme permitido adquirir los conocimientos necesarios para poder alcanzar mi objetivo, de la misma forma agradezco a los ingenieros que siempre me han apoyado en cada momento a lo largo de mi formación académica.

Frixon Cañizares

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi madre, Marisol Ardila Reyes y mis hermanos por ser las personas más importantes en mi vida y enseñarme valores que día tras día han sido fundamentales para poder formarme como persona y ahora como un profesional.

Frixon Cañizares

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a todas las personas que han contribuido a la elaboración de este proyecto.

Luis Mera

DEDICATORIA

A mis padres.

Luis Mera

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2	JUSTIFICACIÓN	2
1.3	OBJETIVOS.....	2
1.4	ANTECEDENTES	2
2	METODOLOGÍA.....	6
2.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	6
2.2	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA USADA.....	6
3	EJECUCIÓN Y RESULTADOS.	9
3.1	ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS	12
	DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	15
3.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN	18
	SENSORES	18
	CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO	21
3.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y CORRECCIÓN	26
	CONTROLADOR	26
	CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES DE SALIDA.....	28
	ACTUADORES	31
	PRESENTACIÓN	32
	ALGORITMO.....	33
	CONTROL.....	35
	FORMAS DE ONDA.....	37
3.4	DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES	39
	POTENCIA NOMINAL DEL CIRCUITO.	39
	INTENSIDAD DE CORRIENTE NOMINAL	40
	CALIBRE DE LOS CONDUCTORES.....	41
	CAPACIDAD DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE	44
3.5	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
3.6	MANUAL DE CONFIGURACIÓN.....	51
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5	REFERENCIAS	55
6	ANEXOS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Sistema general de medición y control.....	3
Figura 1.2	Circuito comparador.....	4
Figura 1.3	Controlador	4
Figura 1.4	Actuador	5
Figura 3.1	Partes de la simulación.....	9
Figura 3.2	LCD simulado	11
Figura 3.3	Prototipo	15
Figura 3.4	Vista interna del prototipo	16
Figura 3.5	Relé 120 (V_{AC})	17
Figura 3.6	Parte posterior del prototipo.....	17
Figura 3.7	Estructura básica de un sistema de instrumentación	18
Figura 3.8	Transformador sensor de voltaje.....	18
Figura 3.9	Fuente de voltaje controlada por corriente	20
Figura 3.10	Sensor de corriente no invasivo	20
Figura 3.11	Señal analógica y continua	21
Figura 3.12	Circuito de acondicionamiento de voltaje, Sección 1.....	22
Figura 3.13	Circuito acondicionador de corriente, Sección 1	23
Figura 3.14	Formas de onda de un circuito de valor absoluto.....	23
Figura 3.15	Circuito acondicionador de voltaje, Sección 2.....	24
Figura 3.16	Circuito acondicionador de corriente, Sección 2	24
Figura 3.17	Circuito de adaptación de voltaje, Sección 3.....	25
Figura 3.18	Circuito de adaptación de corriente, Sección 3	25
Figura 3.19	Microcontrolador Arduino Mega	27
Figura 3.20	Acondicionamiento para actuadores	29
Figura 3.21	Características relés	29
Figura 3.22	Circuito de actuadores, Sección 1.....	31
Figura 3.23	Circuito de actuadores, Sección 2.....	31
Figura 3.24	Pantalla LCD.....	32
Figura 3.25	Datos LCD	33
Figura 3.26	Leds indicadores.....	33
Figura 3.27	Diagrama de flujo.....	34
Figura 3.28	Pulsadores e interruptores	35
Figura 3.29	Mejora del factor de potencia.....	37
Figura 3.30	Formas de onda con carga resistiva	37
Figura 3.31	Formas de onda carga R+L	38
Figura 3.32	Formas de onda carga R+L+C.....	38
Figura 3.33	Desfase compensado	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Partes de la simulación	9
Tabla 3.2 Cualidades esenciales del sistema.....	11
Tabla 3.3 Elementos utilizados.....	11
Tabla 3.4 Parámetros.....	13
Tabla 3.5 Cargas	13
Tabla 3.6 Especificaciones Arduino Mega.....	14
Tabla 3.7 Partes del prototipo	16
Tabla 3.8 Distribución de pines	27
Tabla 3.9 Pulsadores, interruptores y su función.....	36
Tabla 3.10 Voltaje y corriente de cargas simulado.	40
Tabla 3.11 Demanda de potencia simulada	40
Tabla 3.12 Demanda de corriente	41
Tabla 3.13 Temperatura del conductor.....	43
Tabla 3.14 Sección transversal.	43
Tabla 3.15 AWG 14.....	44
Tabla 3.16. Número de dispositivos de sobrecarga.....	44
Tabla 3.17 Verificación de actuadores y luces indicadoras	46
Tabla 3.18 Prueba de algoritmo	46
Tabla 3.19 Prueba circuito acondicionador	47
Tabla 3.20 Prueba caso 1	48
Tabla 3.21 Prueba caso 2	48
Tabla 3.22 Prueba caso 3	48
Tabla 3.23 Prueba caso 4	48
Tabla 3.24 Prueba caso 5	49
Tabla 3.25 Prueba caso 6	49
Tabla 3.26 Prueba caso 7	49
Tabla 3.27 Prueba caso 8	50
Tabla 3.28 Precisión del sistema.....	50
Tabla 3.29 Demanda de corriente	50

RESUMEN

El proyecto de titulación, “CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO PARA LA REGULACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.”, pone a disposición de los estudiantes de la Escuela de Formación de Tecnólogos un instrumento de simulación con el cual se podrá comprender de forma práctica el proceso de corrección del factor de potencia, que es fundamental en la carrera de Tecnología en Electromecánica y les permitirá mejorar en los ámbitos académico y profesional.

El presente trabajo cuenta con cuatro capítulos, los cuales se resumen a continuación:

El Primer capítulo consta de la introducción, se aclara los objetivos que se han planteado para poder realizar el proyecto, además se detalla la justificación del por qué la realización de este tema.

El segundo capítulo describe la metodología utilizada, además de las diferentes actividades que se han realizado acorde a los objetivos propuestos.

El tercer capítulo detalla los pasos que fueron indispensables antes, durante y luego de la creación del programa, así mismo se describen todos los elementos utilizados en la simulación y las respectivas pruebas realizadas las cuales ayudaron a evidenciar su funcionamiento, de la misma forma se creó un manual que ayudará a comprender como funciona el programa y los pasos que se deben seguir para el manejo del mismo, y así permitir que los estudiantes que vayan a manipularlo no cometan errores al momento de iniciarlo.

Finalmente, en el cuarto capítulo se redactaron las respectivas conclusiones y recomendaciones que han surgido en el transcurso del desarrollo de la simulación.

ABSTRACT

The degree project, "CONSTRUCTION OF A MODULE FOR THE REGULATION OF THE POWER FACTOR." Is focused on the learning and technological development of the students since thanks to the manipulation of the same it is possible to understand more clearly some topics that are fundamental in the electromechanical technology career, in addition to the fact that thanks to this program you will have a better understanding of the topic covered and thus be able to develop better in the academic field and mainly in the professional one.

The present work consists of four chapters, which are summarized below:

The first chapter contains the introduction, clarifies the objectives that have been set to carry out the project, also details the justification for why the realization of this topic.

The second chapter describes the methodology used, in addition to the different activities that have been carried out according to the proposed objectives.

The third chapter details the steps that were essential before, during and after the creation of the program are detailed, as well as all the elements used in the simulation and the respective tests carried out which helped to demonstrate its operation, In the same way, a manual was created that helps to understand how the program works and the steps that must be followed to manage it, and thus allow students who are going to manipulate it to make no mistakes when starting it.

Finally, in the fourth chapter drafted the respective conclusions and recommendations that emerged at the time of the development of the simulation.

1 INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consta de un diseño y simulación que permite medir y regular el factor de potencia utilizando la interfaz y los componentes que facilita el software PROTEUS debido a que la emergencia sanitaria por la enfermedad del COVID19 impide su construcción, este proyecto se encontrará disponible en el Laboratorio de Tecnología Industrial para que todos los estudiantes de la ESFOT puedan hacer uso de este y así ampliar sus conocimientos acerca del tema en cuestión. Podrán operar y realizar pequeños cambios en el programa con la finalidad de simular situaciones donde el factor de potencia es fuera de los rangos permitidos de acuerdo con el Consejo Nacional De Electricidad, de esta forma sabrán lo que lo provoca y conocerán cómo solucionarlo.

Por ende, el programa propuesto ayudará a los estudiantes a comprender como se comporta la regulación del factor de potencia en una situación real y además podrán comprender el manejo del software Proteus gracias al manual que está adjuntado a este documento.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El factor de potencia es un indicador que muestra la cantidad de energía eléctrica que se está aprovechando ya sea en fábricas o residencias, cuando dicho valor muestra que se está desperdiciando energía eléctrica, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad establece una penalización por bajo factor de potencia y en casos graves se suspende el servicio público de energía eléctrica hasta que el consumidor adecue sus instalaciones (Electricidad, 2019). Además, produce pérdidas por incremento de la corriente, sobrecarga las líneas de distribución y aumenta la caída de tensión (Hiziroglu, 2006).

Los estudiantes de la carrera de electromecánica dominan el tema de forma teórica, pero no de forma práctica, porque la Escuela de Formación de Tecnólogos no cuenta con instrumentos que permitan medir y corregir el factor de potencia.

Por ello se propuso crear un programa en ARDUINO y una simulación en el software Proteus y replicar el funcionamiento del factor de potencia al conectar diferentes elementos capacitivos, inductivos y resistivos.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La creación de un programa para la corrección del factor de potencia ayudará a los estudiantes de la Escuela de Formación de Tecnólogos a mejorar su comprensión del tema y su destreza para realizar las maniobras correctivas que necesita la maquinaria industrial.

El programa permitirá comprender como al corregir el factor de potencia se pueden disminuir pérdidas en el consumo de la energía eléctrica, aumentar la vida útil de los equipos, reducir la caída de tensión y aumentar la vida útil del aislamiento de los conductores (Hiziroglu, 2006).

1.3 OBJETIVOS

Objetivo general

Construcción de un módulo didáctico para la regulación del factor de potencia.

Objetivos específicos

1. Realizar un estudio de requerimientos.
2. Diseñar el sistema de medición.
3. Diseñar el sistema de control y corrección.
4. Diseñar y seleccionar del sistema de protección.
5. Realizar las pruebas y análisis en el programa.
6. Elaborar un manual de configuración.

1.4 ANTECEDENTES

Sistema de medición y control.

Es la combinación de diferentes componentes que actúan entre sí con la finalidad de cumplir un objetivo específico. En la Figura 1.1 se muestra la estructura general que debe tener dicho sistema.(PallásAreny,2003)

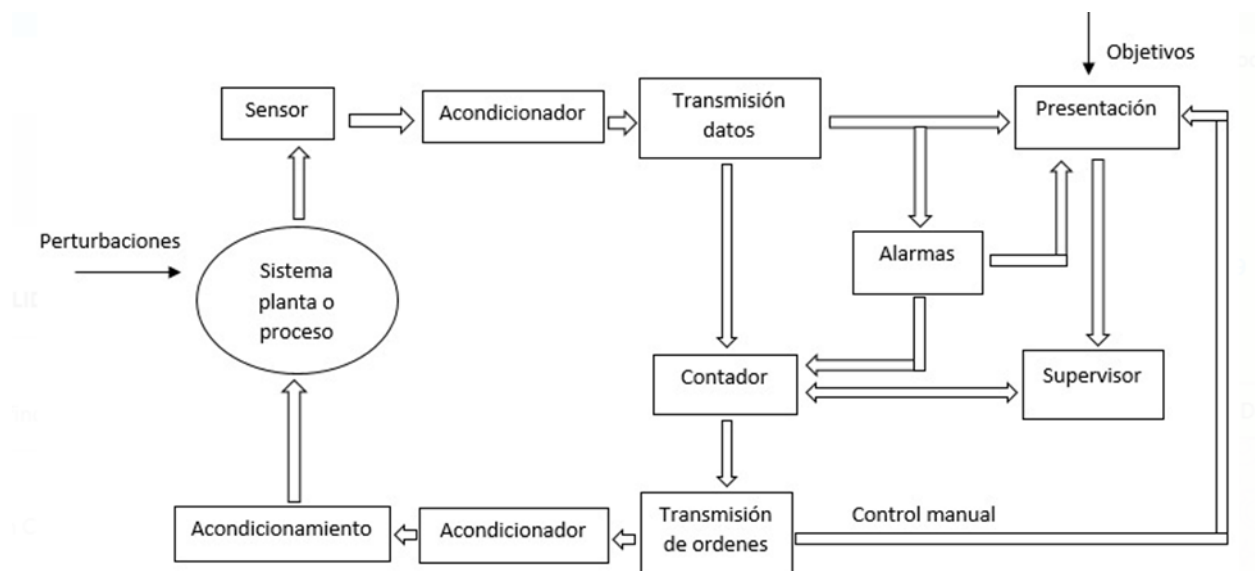


Figura 1.1 Sistema general de medición y control (Pallás Areny, 2003)

Etapa de acondicionamiento

Adapta la señal que vienen de los sensores a niveles que sean comprensibles para utilizarlos en la etapa de control. (Gerardo Iborra.B, 2006).

Etapa de control

La etapa de control se encarga de adquirir las señales que le proporciona la etapa de acondicionamiento. Esta etapa se implementa mediante un microcontrolador. (Gerardo Iborra.B, 2006).

Sensor

Un sensor es un elemento que recibe la información de una variable que se desea medir y produce un tipo de señal eléctrica o modifica sus parámetros eléctricos (Pérez García, 2014).

Rectificador de precisión de onda completa.

Este circuito transmite los dos semiciclos de una onda de voltaje alterna en una sola polaridad a la salida del circuito, la polaridad dependerá de la dirección de los diodos (Coughlin & Driscoll, 1987).

Detectores del cruce por cero

Estos basan su funcionamiento en un circuito comparador, el cual como su nombre lo indica, compara la señal de voltaje de la entrada inversora y la señal de la entrada no inversora (Mijarez Castro, 2014), como lo muestra la Figura 1.2.

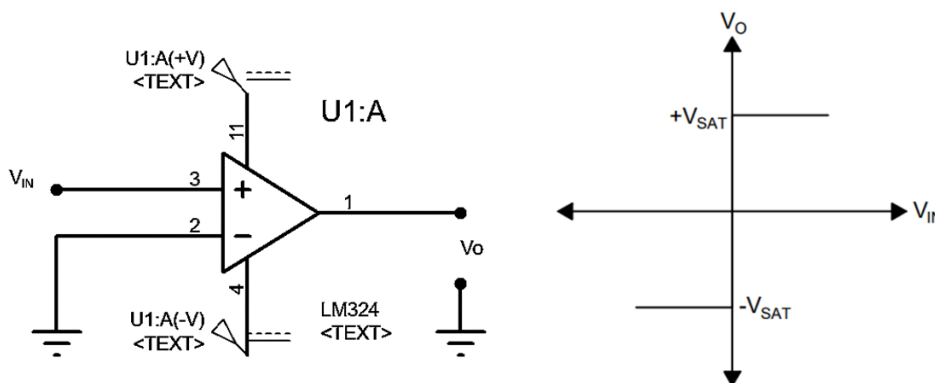


Figura 1.2 Circuito comparador (Mijarez Castro, 2014)

Un controlador

Es un elemento que recibe información en su entrada y ejerce una acción a la salida, la información que recibe y emite necesita de poca potencia para ser transportada (Barón, 2004), esto se muestra en la Figura 1.3.

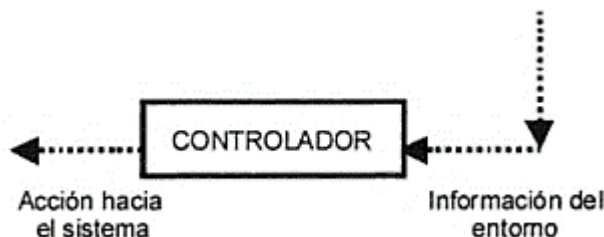


Figura 1.3 Controlador (Barón, 2004)

Actuador

Es un elemento que amplifica la información emitida por el controlador y consume mayor potencia al transmitirla (Barón, 2004). Se puede ver gráficamente en la Figura 1.4.

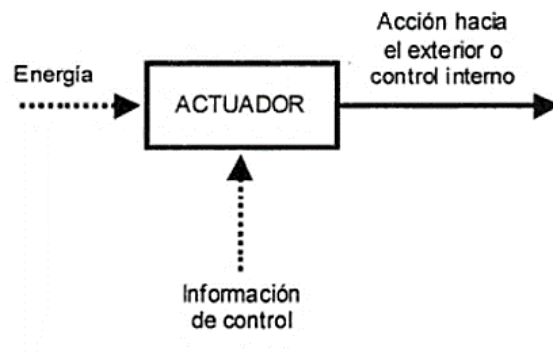


Figura 1.4 Actuador (Barón, 2004)

2 METODOLOGÍA

2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

MÉTODO ANALÍTICO. El método analítico es un tipo de modelo científico que se basa en la experimentación directa y la lógica de la experiencia, donde se estudia el fenómeno a resolver y se determina de qué manera se lo resolverá, descomponiéndola en sus elementos básicos. (Morales, 2014)

Al tener en cuenta la metodología analítica, se procedió a determinar todos los elementos y parámetros que serían necesarios para la creación del programa y así poder solventar el problema que se está planteado. Al ya tener conocimientos teóricos de cómo funciona el factor de potencia se procedió a analizar cuáles serían las características más apropiadas con las que debe cumplir el programa con la finalidad de elegir el mejor modelo de funcionamiento.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA USADA

Se creó un programa que mide el factor de potencia de una o varias cargas, donde además se visualizará dicho factor de potencia y se regulará mediante cargas capacitivas. La regulación será manual o automática, dependiendo de la elección del usuario.

Para alcanzar los objetivos específicos listados anteriormente, se procedió de la siguiente manera:

REALIZAR UN ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS.

Se determinó el número de fases, el voltaje nominal y la frecuencia de red. Además, se determinó el sistema de medición y los instrumentos, sensores, los componentes que conforman cada etapa de la simulación, el tipo de alimentación que requieren y su capacidad de operación.

Se especificó el número de cargas inductivas y capacitivas que se incluirían, el número y tipo de actuadores y el sistema de activación y desactivación.

Se creó un prototipo 3D del sistema, el cual consta de varias secciones donde se distribuye los elementos utilizados en la simulación. Este diseño se ha creado mediante la utilización del software SolidWorks 2018.

DISEÑAR EL SISTEMA DE MEDICIÓN.

Se estableció las etapas del sistema de medición, la primera es la recopilación de datos a través de los sensores, la segunda es la adaptación mediante amplificadores operacionales, los cuales son los encargados de recibir la señal analógica del voltaje y la corriente de las cargas instaladas en el sistema y a su vez llevarlos a valores que pueden ser interpretados por el microcontrolador, la tercera etapa sirve para medir el tiempo de desfase entre voltaje y corriente, en esta etapa los amplificadores operacionales se encargan de detectar los cruces por cero de las ondas de voltaje y corriente.

DISEÑAR EL SISTEMA DE CONTROL Y CORRECCIÓN.

En la etapa de control se ha utilizado el microcontrolador Arduino Mega, el cual recibe todas las señales de los amplificadores operaciones y luego presenta los parámetros de operación, este sistema puede detectar automáticamente que el factor de potencia esta fuera del rango admisible y activará las cargas capacitivas con la finalidad de corregir dicho valor. Además, la simulación permitirá comprobar el funcionamiento de todas las cargas una por una.

De la misma forma se diseñó el circuito de activación para las cargas, el cual consta de relés, transistores y leds indicadores.

La activación y desactivación de los actuadores dependerán del usuario y las lecturas del microcontrolador Arduino.

DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES.

Teniendo en cuenta el voltaje y la corriente nominales con los que se va a trabajar, además de las diferentes cargas, se procedió a dimensionar las protecciones eléctricas, las cuales consta de un breaker que protege contra sobre cargas y cortocircuitos.

Para este propósito se ha empleado el Código Eléctrico Nacional, el cual ayuda a seleccionar las protecciones más adecuadas para un sistema similar, esta sección se incluye como referencia para futuras implementaciones de este sistema.

REALIZAR LAS PRUEBAS Y ANÁLISIS EN EL PROGRAMA.

Se simularon todas las funciones y los elementos disponibles en busca de fallas y se corrigieron todos los errores que arrojó el programa. Habiendo comprobado la simulación en su totalidad y con la ayuda de cálculos ideales, se ha podido comprobar que los valores medidos y los entregados por el programa son correctos.

ELABORAR UN MANUAL DE CONFIGURACIÓN.

Consta de una introducción en la cual se da a conocer todas las funciones y manera correcta de ejecutar la simulación.

Se detallaron todos los elementos de esta, donde se incluyó los circuitos implementados mediante el programa Proteus y el algoritmo de control utilizado.

Se encuentran detallados los pasos para cargar el algoritmo de control al programa Proteus.

3 EJECUCIÓN Y RESULTADOS.

La Figura 3.1 muestra el resultado final de la simulación, la cual mediante la utilización de varias etapas es capaz de medir el factor de potencia de cada una de las cargas utilizadas. Además de esto puede corregir dicho factor si este se encuentra fuera de los límites de funcionamiento óptimo y de esta forma reducir el consumo excesivo de energía.

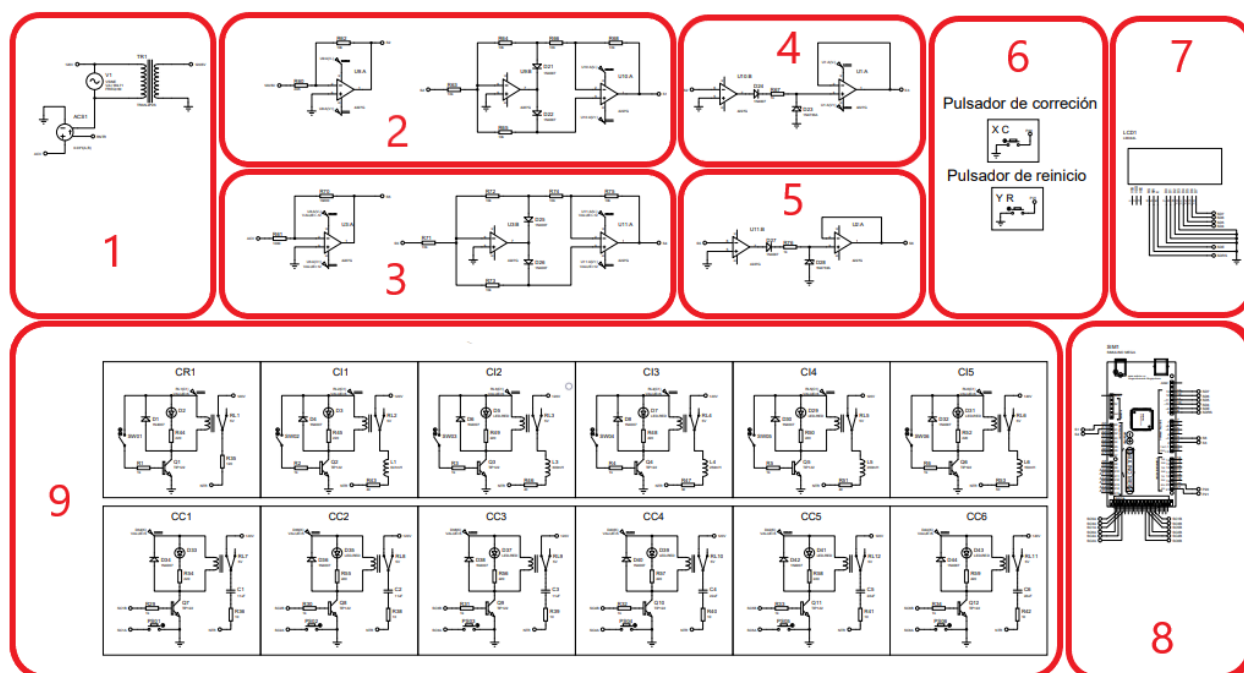


Figura 3.1 Partes de la simulación (Fuente Propia)

A continuación, en la Tabla 3.1 se describen las partes mostradas en la Figura 3.1.

Cada una de las características de los elementos que se han utilizado se verán más adelante cuando se explique el funcionamiento de las etapas mostradas en la Figura 3.1.

Tabla 3.1 Partes de la simulación

NUMERO	NOMBRE	FUNCIÓN
1	Transformador sensor de voltaje y sensor de corriente	Detecta la variable que se quiere medir, en este caso voltaje y corriente. Para el sensor de voltaje se ha usado un transformador 120/6 (V_{AC}) mientras que para el de corriente se usó una fuente de voltaje controlada por corriente

NUMERO	NOMBRE	FUNCIÓN
2	Circuito acondicionador de voltaje	Lleva el voltaje a valores que se encuentren dentro del rango de trabajo del microcontrolador.
3	Circuito acondicionador de corriente	Reduce el valor de la corriente para una correcta lectura del microcontrolador.
4	Detector del cruce por cero del voltaje	Registra el momento exacto en el que la onda de voltaje pasa por el 0.
5	Detector del cruce por cero de la corriente	Registra el momento exacto en el que la onda de corriente pasa por el 0.
6	Pulsador de corrección y pulsador de reinicio	Corrige automáticamente el factor de potencia mientras que el otro reinicia las cargas capacitivas. En el caso de las cargas inductivas y resistivas se usa interruptores.
7	Pantalla LCD	Muestra los valores obtenidos al activar las cargas.
8	Microcontrolador	Procesa toda la información mediante un algoritmo de control.
9	Circuito de cargas	Consta de varios elementos que ayudan a activar y desactivar las cargas.

(Fuente Propia)

En el Anexo A se muestran todas las partes anteriormente enlistadas en la Tabla 3.1.

La simulación creada para este proyecto se encuentra en el Laboratorio de Tecnología Industrial para el uso de los estudiantes. Más adelante, se explica el funcionamiento de cada etapa y se especifican los componentes que hacen posible su trabajo.

En la Figura 3.2 se observa la pantalla LCD con todos los valores que la simulación arroja cuando todas las cargas entran en funcionamiento (R+L+C), dichos valores serán, voltaje (V), corriente (I), ángulo de desfase (θ), factor de potencia (fp), potencia activa (P), potencia reactiva (Q) y potencia aparente (S).

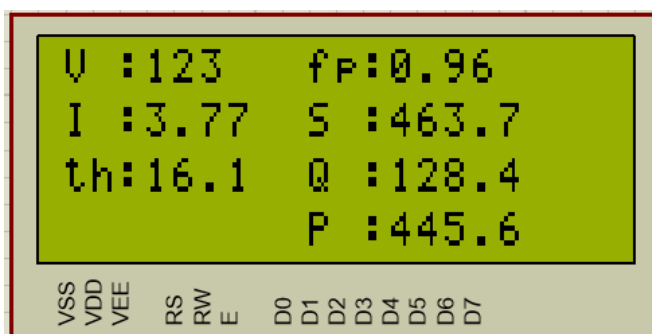


Figura 3.2 LCD simulado (Fuente Propia)

El margen y la resolución de los datos se especifican en la Tabla 3.2, interpretando:

Resolución como el menor cambio cantidad medida que producirá en cambio observable.

(Bolton, 1996).

Y margen como los límites entre los que se puede realizar las lecturas (Bolton, 1996).

Tabla 3.2 Cualidades esenciales del sistema

	MARGEN	RESOLUCIÓN
Voltaje (V)	0 a 120	1
Corriente (I)	0 a 6	0,01
Angulo de desfase (°)	-90 a 90	0,1
Factor de potencia	0 a 1	0,01
Potencia aparente (VA)	0 a 720	0,1
Potencia reactiva (VAR)	0 a 720	0,1
Potencia activa (W)	0 a 720	0,1

(Fuente propia)

En la Tabla 3.3 se muestran detalladamente todos los elementos utilizados, así como la cantidad requerida de los mismos.

Tabla 3.3 Elementos utilizados

ELEMENTOS UTILIZADOS			
Nº	Nombre	Código de proteus	Cantidad
1	Microcontrolador	Arduino Mega 2560	1
2	Transformador 120/6 (V_{AC})	TRAN-2P2S	1
3	Fuente de voltaje controlada por corriente	ACCVS	1
4	Fuente 5(V_{DC})	VCC	1
5	Fuente 12 (V_{DC})	VDC	1
6	Fuente -12(V_{DC})	VDC	1
7	Amplificador operacional	4227G	10
8	Pantalla LCD 20x4	LM044L	1
9	Pulsadores NA	BUTTON	8
10	Interruptores	SWITCH	6

ELEMENTOS UTILIZADOS			
11	Resistencias 10 (k Ω)	RESISTOR	13
12	Resistencias 1 (k Ω)	RESISTOR	13
13	Resistencias 10 (Ω)	RESISTOR	6
14	Resistencia 24 (k Ω)	RESISTOR	1
15	Resistencia de 5893 (Ω)	RESISTOR	1
16	Resistencia de 20 (Ω)	RESISTOR	1
17	Resistencia de 40 (Ω)	RESISTOR	1
18	Resistencia de 44 (Ω)	RESISTOR	1
19	Resistencia de 50 (Ω)	RESISTOR	1
20	Resistencia de 30 (Ω)	RESISTOR	1
21	Resistencia de 220 (Ω)	RESISTOR	12
22	Resistencia de 120 (Ω)	RESISTOR	1
23	Leds	LED-RED	12
24	Diodo Schottky	1N4007	18
25	Diodo Zener	1N4733A	2
26	Transistor	TIP122	12
27	Relé 5v	RELAY	12
28	Inductancia 300 (mH)	REALIND	1
29	Inductancia 641 (mH)	REALIND	1
30	Inductancia 250 (mH)	REALIND	1
31	Inductancia 200 (mH)	REALIND	1
32	Inductancia 150 (mH)	REALIND	1
33	Capacitancia 22 (μ F)	REALCAP	3
34	Capacitancia 11 (μ F)	REALCAP	3

(fuente propia)

3.1 ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS

Se requiere de un programa para simular el sistema propuesto, dicho programa debe ser ejecutable por la mayoría de los computadores del Laboratorio de Tecnología Industrial.

La versión de Proteus 8.4 Profesional se ha elegido debido a que es la más estable y no presenta errores de programa como otras versiones inferiores o superiores.

Se ha seleccionado este programa ya que se requiere de un sistema donde el comportamiento del factor de potencia sea fácil de evaluar y controlar.

Otro de los requerimientos para tener en cuenta, son los parámetros con lo que se va a trabajar en la simulación los cuales se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Parámetros

PARÁMETRO	TIPO / VALOR
Tipo de red	AC
Voltaje nominal	120 (V_{AC})
Numero de fases	1
Frecuencia de red	60 (Hz)
Corriente nominal	6 (A)

(fuente propia)

Se ha elegido una red AC debido a que en esta se puede comprobar el comportamiento de la corriente y el voltaje cuando aumenta o disminuye el factor de potencia.

Se ha optado por un voltaje nominal de 120 (V_{AC}), una frecuencia de 60 (Hz) y un voltaje monofásico, debido a que es la red habitual que la Empresa Eléctrica Quito provee al público.

Se escogió una corriente nominal de 6 (A) porque las cargas monofásicas no consumen corrientes altas y debido a que en un inicio este proyecto se iba a construir, la selección de esta corriente permitía reducir costos en los materiales de construcción y se la mantuvo para evitar cambios innecesarios en los cálculos y dimensionamientos.

Se requiere un conjunto de cargas que no superen la corriente nominal propuesta anteriormente y que permitan observar el cambio progresivo del factor de potencia, por ello se ha usado las cargas que se especifican en la Tabla 3.5, además, se ha dispuesto de una carga resistiva para comprobar la exactitud de medición del sistema.

Tabla 3.5 Cargas

CARGA	TIPO	VALOR
		(Ω)
1	Resistiva	120
		(mH + Ω)
2	Inductiva	641 + 44
3	Inductiva	300 + 20
4	Inductiva	250 + 30
5	Inductiva	200 + 40
6	Inductiva	150 + 50
		(μF + Ω)
7	Capacitiva	11 + 10
8	Capacitiva	12 + 10
9	Capacitiva	13 + 10
10	Capacitiva	22 + 10
11	Capacitiva	23 + 10
12	Capacitiva	24 + 10

(fuente propia)

Además, se requiere un sistema de medición y control como el que se observa en la Figura 1.1.

Para la elección del sensor de voltaje se ha tomado en cuenta la siguiente limitación: Los amplificadores operacionales que se eligieron no admiten voltajes mayores a 18 (V_{DC}) (Texas Instruments, 2015), por ello se ha integrado un transformador de 120 a 6 (V_{AC}), como sensor de voltaje, el secundario del transformador no alcanzará en ningún momento un voltaje perjudicial para los amplificadores.

Para simular un sensor de corriente en el programa se ha utilizado una fuente de voltaje controlada por corriente.

Se requiere además una etapa de acondicionamiento, para ello se ha seleccionado el rectificador de precisión de onda completa.

Para la elección del controlador se tomaron en cuenta las siguientes necesidades: el microcontrolador debe contar con un puerto analógico con al menos dos pines, debe contar con al menos 24 pines digitales:

- 1 Pin para el pulsador de reinicio.
- 1 Pin para el pulsador de corrección.
- 6 Entradas para los pulsadores de las cargas capacitivas.
- 6 Salidas para los actuadores de las cargas capacitivas.
- 6 Pines para controlar la pantalla LCD.
- 2 Pines para las señales analógicas de voltaje y corriente.
- 2 Pines para la detección del cursé por 0 de las ondas.

Además, el microcontrolador debe tener un lenguaje de programación que los estudiantes de la carrera de Electromecánica consideren familiar, como por ejemplo el lenguaje en C.

Las especificaciones del Arduino Mega 2560 (Tabla 3.6) satisfacen los requerimientos del sistema, por ello se ha elegido este microcontrolador.

Tabla 3.6 Especificaciones Arduino Mega

MICROCONTROLADOR	ATMEGA2560
Voltaje de funcionamiento	5 (V_{DC})
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 (V_{DC})
Voltaje de entrada (límite)	6-20 (V_{DC})
Pines de E/S digitales	54
Pines de entrada analógica	16
Corriente de CC por pin de E/S	20 (mA)
Corriente de CC para pin de 3.3V	50 (mA)
Velocidad del reloj	16 (MHz)

MICROCONTROLADOR	ATMEGA2560
LED_BUILTIN	13
Longitud	101.52 (mm)
Ancho	53.3 (mm)
Peso	37 (g)

(Arduino, 2020)

Para la etapa de presentación se ha dispuesto una pantalla LCD de 4 filas y como elemento de alarma se han ubicado Leds que identifican las cargas activadas.

Para la etapa de acondicionamiento de la transmisión de señales de control se ha instalado transistores TIP122 y para la etapa de accionamiento se han instalado relés de 5 (V_{DC}).

DISEÑO DEL PROTOTIPO

Se utilizó el programa SOLIDWORKS 2018 para poder crear un prototipo 3D, el cual representaría al módulo que se podría construir en base a los elementos utilizados en la simulación, este prototipo se ha realizado teniendo en cuenta las dimensiones reales de algunos de los elementos principales para su funcionamiento, como lo serian lo elementos mostrados en la Tabla 3.7.

El motor que se puede observar en el prototipito de la Figura 3.3, no se encontrará como tal en la simulación, pero se podría considerar que las cargas inductivas y la resistencia del sistema representan el consumo de un motor de baja potencia, sin embargo, si se desea construir el módulo, es recomendable utilizar un motor real ya que esto sería de gran ayuda para poder representar de una mejor forma una situación industrial en la cual se utiliza todo tipo de cargas.

En la Figura 3.3 se puede observar los diferentes compartimientos que tiene el prototipo, así como algunos de los elementos principales del mismo.

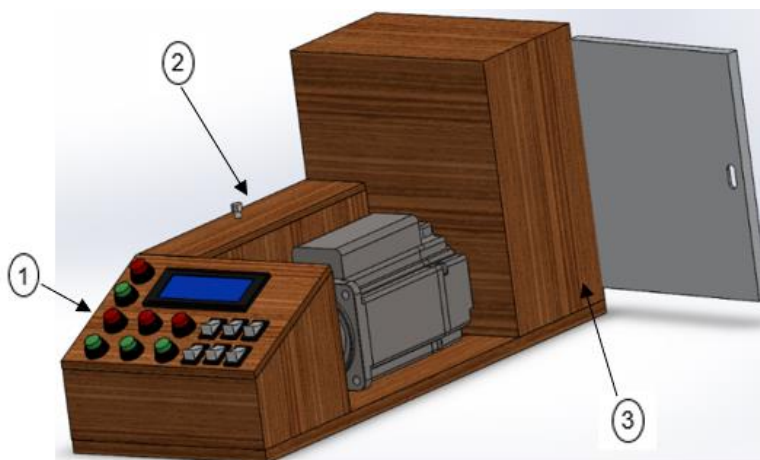


Figura 3.3 Prototipo (Fuente Propia)

En la Tabla 3.7 se detalla cada elemento de este.

Tabla 3.7 Partes del prototipo

PARTES DEL PROTOTIPO		
1	Panel de control	Se tiene la pantalla LCD, pulsadores e interruptores para la activación de las cargas y dentro de este se encontrará el microcontrolador y el módulo relé de 5 (V _{DC}).
2	Compartimiento de cargas	Se colocarán las cargas capacitivas, inductivas y resistivas.
3	Tablero	Consta de un breaker, relés de 110 (V _{AC}), transformador de 120/6 (V _{AC}) y una fuente de voltaje.

(Fuente propia)

A continuación, en la Figura 3.4 se muestra una vista isométrica del prototipo, en la cual se puede apreciar los elementos internos de cada uno de los compartimentos nombrados en la tabla 3.7. En la Figura 3.4 se puede apreciar que las dimensiones propuestas para el módulo son adecuadas para algunos de los elementos que se han utilizado en la simulación.

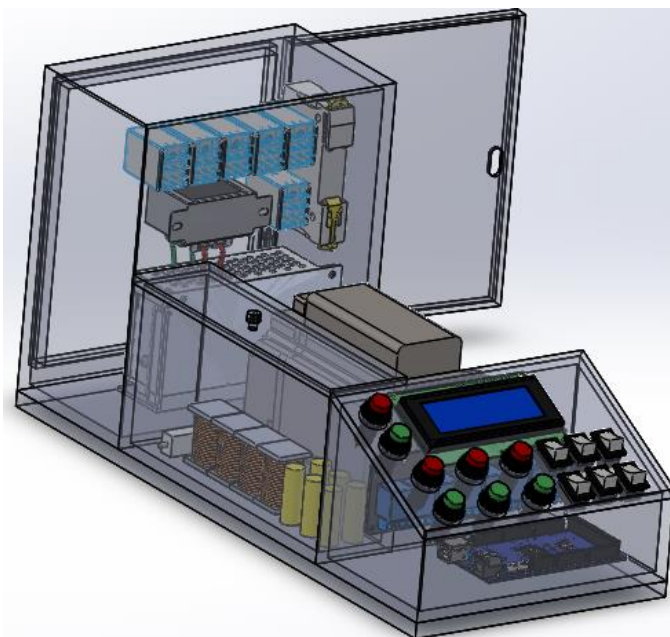


Figura 3.4 Vista interna del prototipo (Fuente Propia)

En la Figura 3.6 se tiene la parte posterior del módulo en la que se encuentra el breaker de protección, los relés que comandaran a las cargas, el transformador de voltaje y la fuente de voltaje. El breaker deberá ser de una corriente de 6 (A) como se menciona en la Tabla 3.4, mientras que los relés de 5 (V_{DC}) serán para las cargas inductivas, en el caso de las cargas

capacitivas se debe utilizar los relés de 5 (V_{DC}) para dar la señal a los relés de 120 (V_{AC}) como el que se observa en Figura 3.5 ya que estos serán los encargados de activar las cargas capacitivas. Esto se lo hace debido a que se realizaron unas pequeñas pruebas con cargas reales y se pudo visualizar que los relés de 5 (V_{DC}) no funcionan directamente para dichas cargas, ya que al momento de conectar y desconectar un capacitor este creara una chispa la cual daña el contacto del relé de 5 (V_{DC}).



Figura 3.5 Relé 120 (V_{AC}) (Finder, 2018)

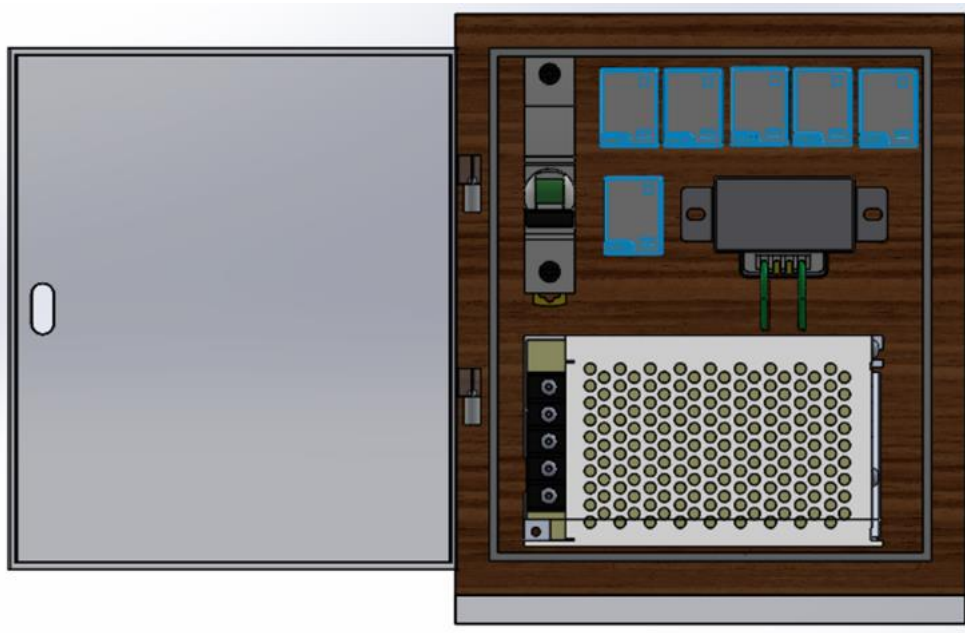


Figura 3.6 Parte posterior del prototipo (Fuente Propia)

Cabe mencionar que esto solo es en caso de que se quiera construir el módulo ya que para la simulación al ser un sistema ideal esto no sucederá, por lo que se puede utilizar solamente los relés de 5 (V_{DC}).

En la sección de Anexos específicamente en el Anexo B se podrá visualizar el plano esquemático del prototipo.

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

El sistema de medición constará inicialmente de dos etapas, las cuales se muestran en la Figura 3.7.

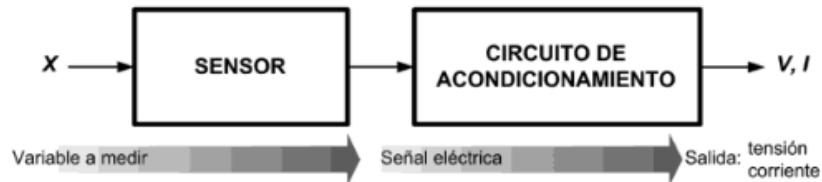


Figura 3.7 Estructura básica de un Sistema de Instrumentación (Pérez García, 2014)

SENSORES

Los parámetros que debe cumplir el sensor de voltaje son:

- Voltaje primario = 120 (V_{AC}), es la red que se está utilizando para el sistema.
- Frecuencia = 60 (Hz), frecuencia de la red ecuatoriana.
- Voltaje pico máximo del secundario = 12 (V_{AC}), para no saturar los amplificadores utilizados.
- Fase = monofásico
- Velocidad de respuesta mínima = 46 (us), tiempo en el que la onda avanza un grado sexagesimal.
- Sensibilidad mínima = 100 (mV/V). Para detectar la variación de 1 voltio.

El elemento sensor que cumplen esos parámetros es un transformador TRAN-2P2S con una relación de transformación de 20 a 1 es decir 120 a 6 (V_{AC}) (Figura 3.8).

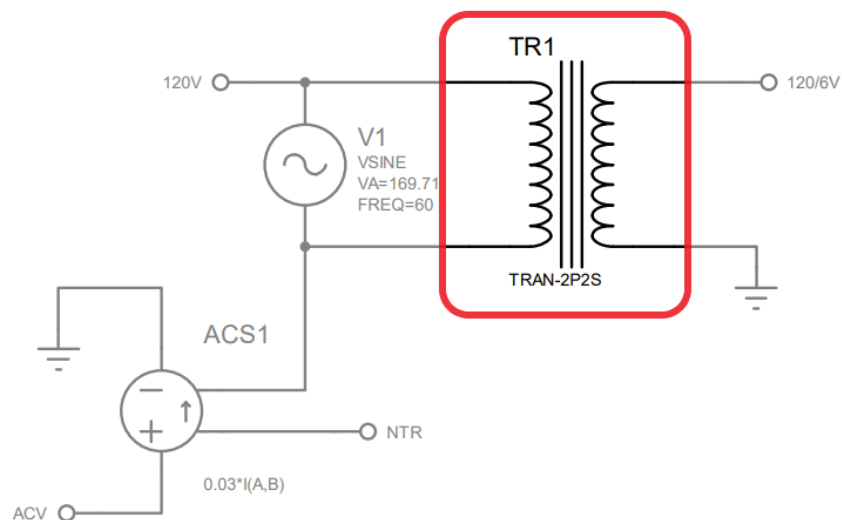


Figura 3.8 Transformador sensor de voltaje (Fuente Propia)

El transformador está conectado a la fuente de voltaje senoidal V1 a través del terminal “120V” que transfieren la señal eléctrica resultante a través del terminal “120/6V”, el conductor restante se conecta a tierra. La relación de transformación del sensor es igual a:

$$V_O = V_{IN} / 20 \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde

V_O = voltaje a la salida

V_{IN} = voltaje por medir

Por ejemplo, para V1 (Figura 3.8), V_O es igual a

$$V_{RMS} = 169,71 / \sqrt{2} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$$V_{RMS} = 120 (V_{AC}) \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$V_O = 120 / 20 \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$V_O = 6 (V_{AC}) \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Los parámetros que debe cumplir el sensor de corriente son:

- Corriente mínima permisible = 6 (A), porque es la corriente nominal del sistema.
- Frecuencia = 60 (Hz), frecuencia de la red ecuatoriana.
- Voltaje pico máximo del secundario = 12 (V_{AC}), para no saturar los amplificadores utilizados.
- Velocidad de respuesta mínima = 46 (us), tiempo en el que la onda avanza un grado sexagesimal.
- Sensibilidad = 100 (mV/A), Para detectar la variación de 1 voltio.

En la simulación el elemento sensor se representa con una fuente de voltaje controlada por corriente como se muestra en la Figura 3.9, el cual hace referencia al sensor de corriente no invasiva Sct-013-030 30(A)/1(V) de la Figura 3.10, cuyas características son:

- Corriente de entrada: 0 a 30 (A)
- Voltaje de salida: 0V – 1 (V_{AC})
- Frecuencia de trabajo: 50 (Hz) a 1K (Hz)
- Dimensiones: 32mm x 57 mm x 23.5 mm

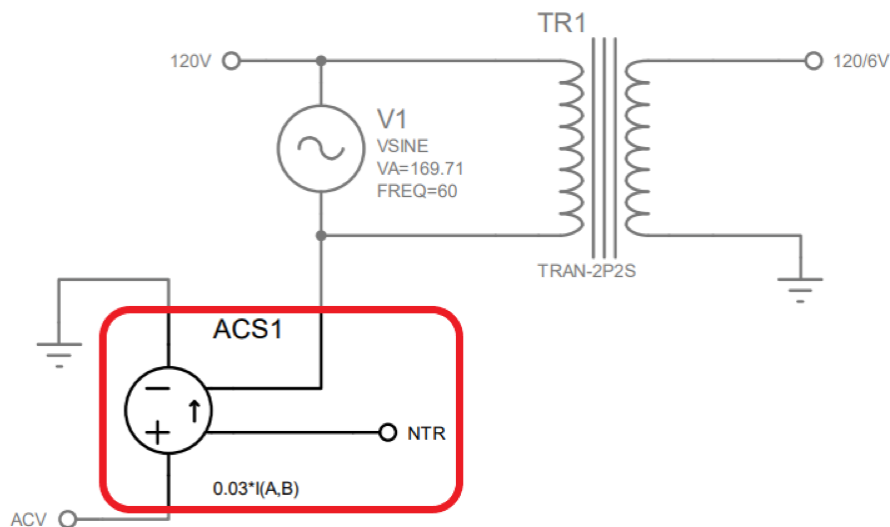


Figura 3.9 Fuente de voltaje controlada por corriente (Fuente Propia)



Figura 3.10 Sensor de corriente no invasivo (Mechatronics, 2016)

El sensor de corriente conecta las cargas inductivas, capacitivas y resistivas con neutro logrando que la corriente total lo atraviese. Al fluir corriente por la fuente de voltaje que cumple la función de sensor, se produce una diferencia de voltaje en sus terminales “+” y “-”, dicha diferencia es la señal eléctrica de salida que irá a la siguiente etapa a través del terminal ACV.

La relación de transferencia del sensor es de 30 (A) a 1 (V_{AC}) entonces el voltaje de salida es:

$$V_O = I_{IN} \cdot 0,03 \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde

V_O = voltaje a la salida

I_{IN} = corriente por medir

Por ejemplo, para una corriente igual a 6 (A), V_O es igual a:

$$V_O = 6 \cdot 0,03 \quad \text{Ecuación 3.7}$$

$$V_O = 0,18 (V_{AC}) \quad \text{Ecuación 3.8}$$

CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO

Para la creación de este circuito se debe tener en cuenta el valor de voltaje admite el puerto analógico del microcontrolador, que es igual al voltaje de funcionamiento, que según se observa en la Tabla 3.6 es igual a $5(V_{DC})$.

Se ha dimensionado los componentes de tal forma que la tensión pico de salida del circuito acondicionador no sobrepase el límite de funcionamiento del puerto analógico. Esto se explica mejor si se dirige a la Figura 3.11, donde la onda senoidal tiene un voltaje RMS de $5 (V_{AC})$ y la señal continua tiene un voltaje de $5 (V_{DC})$.

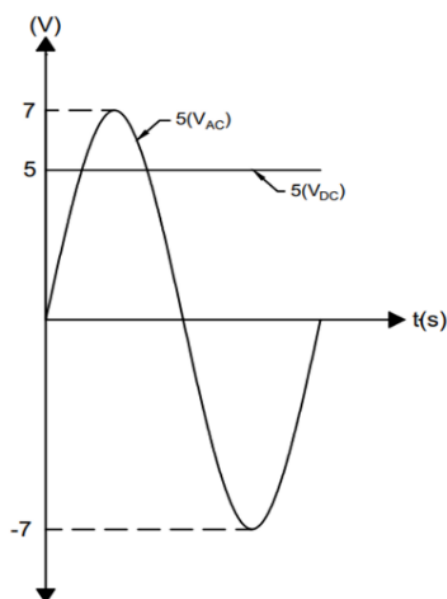


Figura 3.11 Señal analógica y continua (Fuente Propia)

Si el límite del puerto analógico del Arduino es de $5 (V_{DC})$ y se acondicionara el voltaje de entrada para alcanzar $5 (V_{AC})$ se estaría excediendo ese límite. Por lo tanto, se dimensionó el circuito de la Figura 3.12 para alcanzar $2,5 (V_{AC})$ con un voltaje nominal de $120 (V_{AC})$ en el primario del transformador, así pues, la función de transferencia para este caso sería:

$$V_O = V_{IN} / 2,4 \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde:

V_{IN} = diferencia de tensión entre el terminal 120/6 (V_{AC}) y tierra

V_O = diferencia de tensión entre el terminal S2 y tierra

Por ejemplo, cuando V_{IN} es igual a 6, V_O es igual a:

$$V_O = 6 / 2,4$$

Ecuación 3.10

$$V_O = 2,5 (V_{AC})$$

Las resistencias que conforman el circuito acondicionador soportan una potencia máxima de 0,25 (W).

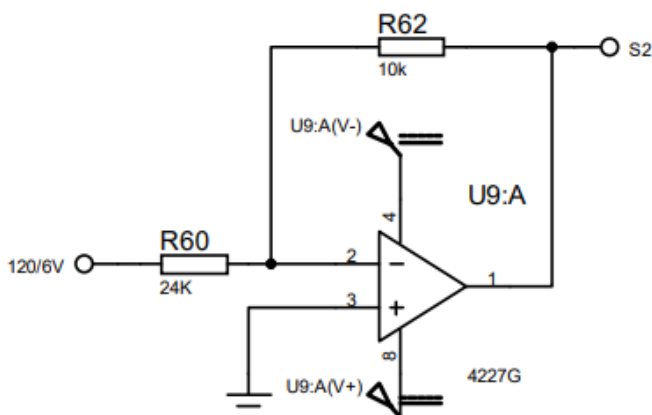


Figura 3.12 Circuito de acondicionamiento de voltaje, sección 1 (Fuente Propia)

Y en el caso del circuito acondicionador de corriente, como se muestra en la Figura 3.13 se dimensionó para alcanzar 3,5 (V_{AC}) con una corriente nominal de 6 (A), de esta manera la función de transferencia para este caso sería:

$$V_O = V_{IN} \cdot 19,2$$

Ecuación 3.11

Donde:

V_{IN} = diferencia de tensión entre el terminal RSC1 y tierra

V_O = diferencia de tensión entre el terminal S5 y tierra

Por ejemplo, cuando V_{IN} es igual a 0,6, V_O es igual a:

$$V_O = 0,18 \cdot 19,2$$

Ecuación 3.12

$$V_O = 3,5 (V_{AC})$$

Ecuación 3.13

Las resistencias que conforman el circuito acondicionador soportan una potencia máxima de 0,25 (W).

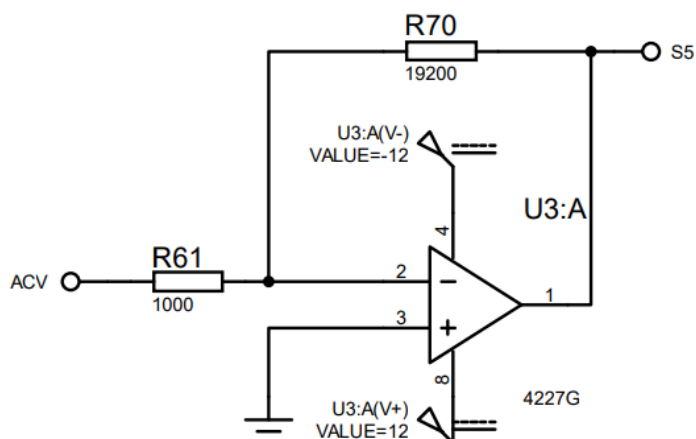


Figura 3.13 Circuito acondicionador de corriente, sección 1 (Fuente Propia)

Los amplificadores pueden ser energizados con un voltaje máximo de 18 y -18 (V_{DC}) (Texas Instruments, 2015), por eso se ha dispuesto fuentes de 12 (V_{DC}) y -12 (V_{DC}).

La segunda etapa del acondicionamiento es el rectificador de precisión de onda completa con resistencias iguales o de valor absoluto, con los diodos dispuestos de la forma que muestra la Figura 3.15 y Figura 3.16 las ondas a la entrada y salida son iguales a las de la Figura 3.14 donde V_{IN} es el voltaje de entrada y V_o es el voltaje en la salida.

Las resistencias que conforman el circuito rectificador soportan una potencia máxima de 0,25 (W).

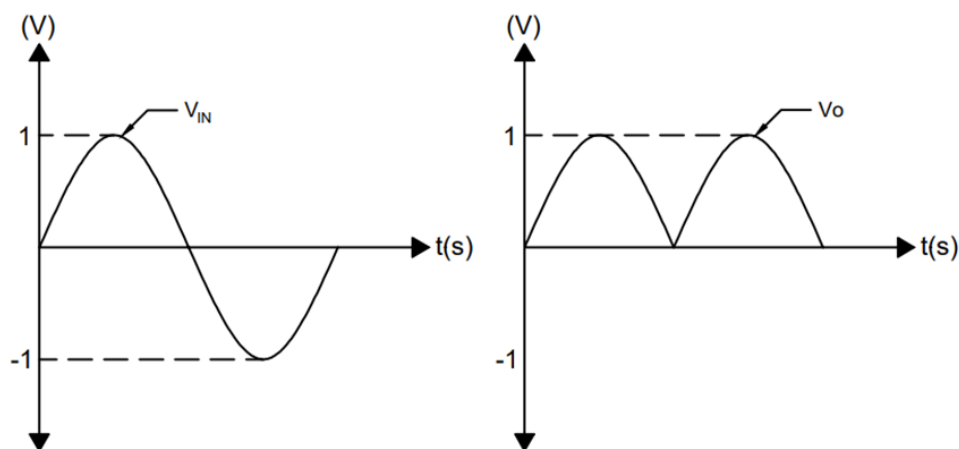


Figura 3.14 Formas de onda de un circuito de valor absoluto (Coughlin & Driscoll, 1987)

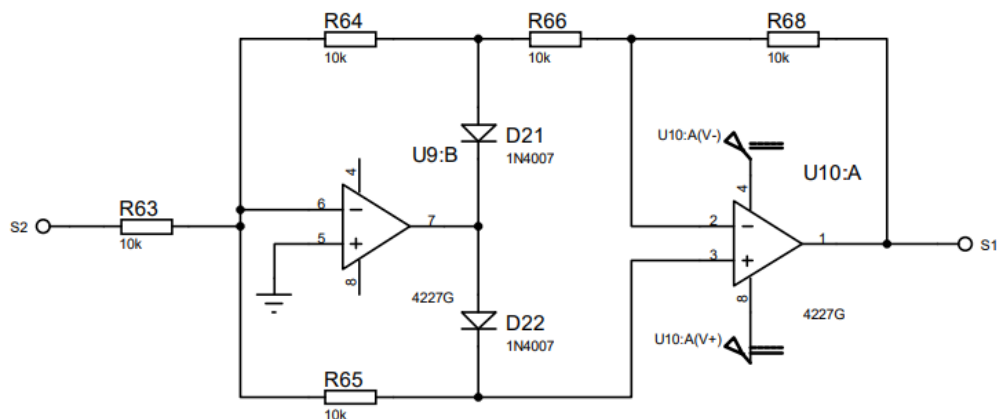


Figura 3.15 Circuito acondicionador de voltaje, sección 2 (Fuente Propia)

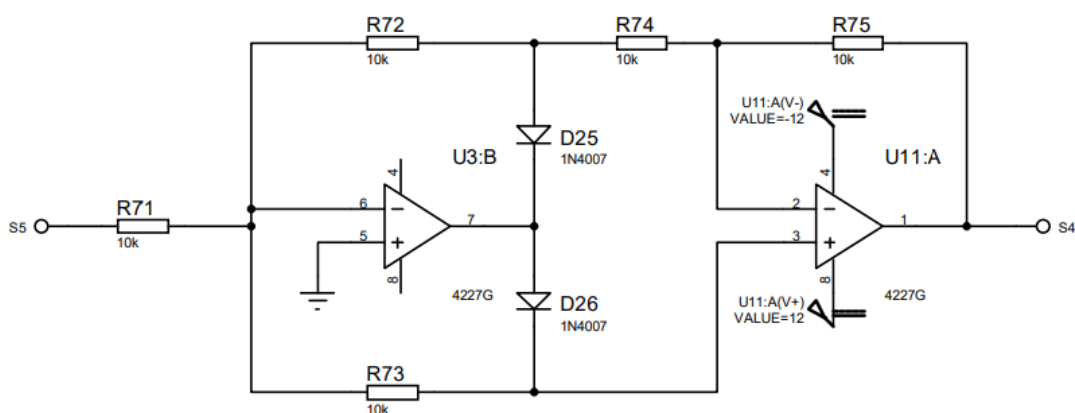


Figura 3.16 Circuito acondicionador de corriente, sección 2 (Fuente Propia)

La siguiente etapa es la detección de cruce por cero, como su nombre lo indica esta permitirá que el controlador detecte el instante en el que cada una de las ondas cruza por el cero y de esta forma poder medir el tiempo de diferencia con el que las ondas de voltaje y corriente están separadas. Dicho tiempo equivale al ángulo de desfase entre las ondas, lo cual permite medir el factor de potencia y calcular la potencia real y reactiva.

$$F_p = \cos(\theta) \quad \text{Ecuación 3.14}$$

$$S = V \cdot I \quad \text{Ecuación 3.15}$$

$$Q = S \cdot \sin(\theta) \quad \text{Ecuación 3.16}$$

$$P = S \cdot \cos(\theta) \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Donde:

F_p = Factor de potencia

θ = Ángulo de desfase.

S = Potencia aparente.

Q = Potencia reactiva

P = Potencia activa

Para que el circuito comparador mostrado en la Figura 1.2 sirva al propósito de este proyecto se debe conectar con un diodo, una resistencia y un diodo Zener, como se muestra en la Figura 3.17 y Figura 3.18, esta configuración permite obtener a la salida una onda cuadrada de cero a cinco voltios, que se elevará cuando la diferencia de tensión entre S2 y tierra sea menor a cero, luego se ha colocado un circuito seguidor compuesto por un amplificador, dicho circuito hace de filtro para estabilizar los valores obtenidos.

Se ha seleccionado resistencias de 0.25 (W) porque las corrientes en el circuito acondicionador son bajas.

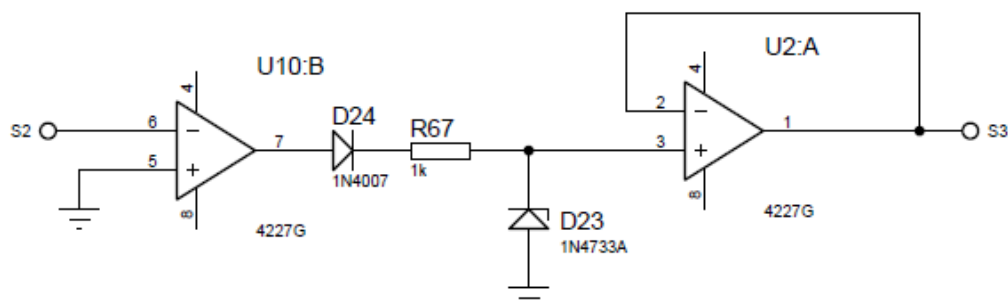


Figura 3.17 Circuito de adaptación de voltaje, sección 3 (Fuente Propia)

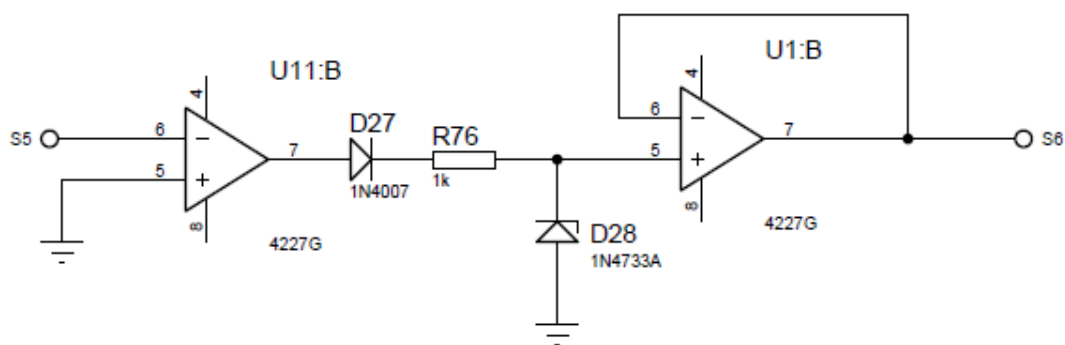


Figura 3.18 Circuito de adaptación de corriente, sección 3 (Fuente Propia)

Para la selección de los diodos tomé en cuenta que el voltaje de saturación es de 12 (V_{DC}) y la corriente de salida es igual a:

$$I = V_{SAT} / R \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Si $R = 10 \text{ (K}\Omega\text{)}$ $I = 12 / 10\,000 \quad \text{Ecuación 3.19}$

$$I = 1,2 \text{ (mA)} \quad \text{Ecuación 3.20}$$

El diodo que se introdujo al circuito es el diodo 1N4007 el cual tiene las siguientes características:

- Máxima tensión de bloqueo = 1000 (V_{DC})
- Voltaje RMS máximo = 700 (V_{AC})
- Máxima corriente directa = 1 (A)
- Máxima tensión directa = 1,1 (V)
- Bajo costo

El diodo Zener que se introdujo al circuito es el diodo 1N4733 el cual tiene las siguientes características:

- Rango de voltaje de trabajo = 3,3 a 24 (V_{DC})
- Voltaje nominal Zener = 5,1 (V_{DC})
- Potencia máxima de disipación = 1 (W)
- Corriente de prueba = 49 (mA)
- Bajo costo

3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y CORRECCIÓN

La etapa de control se encarga de recibir la señal previamente acondicionada, realiza la conversión analógica a digital de esos valores y los presenta en el medio de visualización y si el usuario considera pertinente puede producir una serie de señales de ajuste, que deberán atravesar una segunda etapa de acondicionamiento.

CONTROLADOR

El dispositivo de control es un microcontrolador Arduino Mega (Figura 3.19), este ejecutará el algoritmo de control y posibilitará la maniobra de las cargas instaladas. La asignación de sus puertos se detalla en la Tabla 3.8.

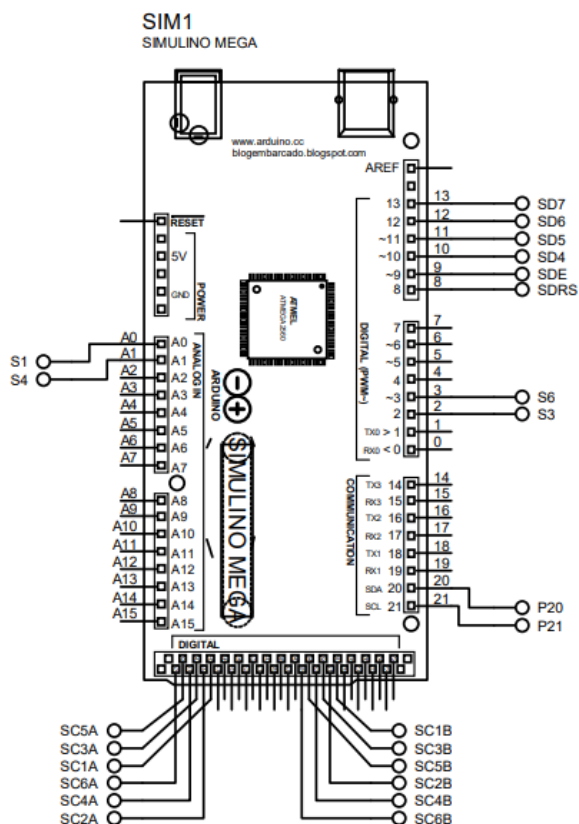


Figura 3.19 Microcontrolador Arduino Mega (fuente propia)

Tabla 3.8 Distribución de pines

PIN	TIPO	TERMINAL	DESTINO
2	Entrada	S3	Detector de cruce V
3	Entrada	S6	Detector de cruce I
8	Entrada / Salida	SDRS	LDC
9	Entrada / Salida	SDE	LDC
10	Entrada / Salida	SD4	LDC
11	Entrada / Salida	SD5	LDC
12	Entrada / Salida	SD6	LDC
13	Entrada / Salida	SD7	LDC
20	Entrada	P20	Pulsador XC
21	Entrada	P21	Pulsador YR
30	Salida	SC1B	Transistor CC1
31	Salida	SC2B	Transistor CC2
32	Salida	SC3B	Transistor CC3
33	Salida	SC4B	Transistor CC4
34	Salida	SC5B	Transistor CC5
35	Salida	SC6B	Transistor CC6
48	Entrada	SC1A	Salida del pulsador PS01
49	Entrada	SC2A	Salida del pulsador PS02
50	Entrada	SC3A	Salida del pulsador PS03

PIN	TIPO	TERMINAL	DESTINO
51	Entrada	SC4A	Salida del pulsador PS04
52	Entrada	SC5A	Salida del pulsador PS05
53	Entrada	SC6A	Salida del pulsador PS06
A0	Entrada	S1	Salida rectificador Voltaje
A1	Entrada	S4	Salida rectificador Corriente

(fuente propia)

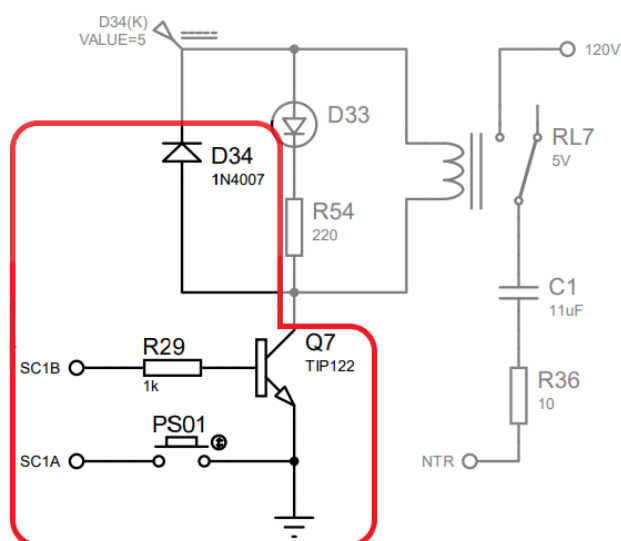
CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES DE SALIDA

Las señales de salida del controlador no pueden ser interpretadas por los actuadores, por lo que se debe acondicionarlas.

Como se muestra en la Tabla 3.6, el microcontrolador dispone de una potencia insuficiente para activar un actuador debido a que la corriente por pin es de 40 (mA) sin embargo el valor recomendado es de 20 (mA). Para solucionar este inconveniente se ha construido un circuito de acondicionamiento, tal como se observa en la Figura 3.20 sección (a), donde Q7 funciona como un interruptor cerrado cuando hay una diferencia de tensión entre SC1B y tierra, en ese momento permite el paso de corriente desde la fuente D34(K) hasta tierra energizando el devanado del relé y activándolo.

La parte (a) de Figura 3.20 corresponde al circuito de capacitores y la parte (b) corresponde al circuito de las cargas inductivas.

El circuito acondicionador de las cargas capacitivas recibe la señal de activación o desactivación del microcontrolador a través del terminal SC1B y el terminal SC1A transmite la señal del pulsador PS01 al microcontrolador.



a)

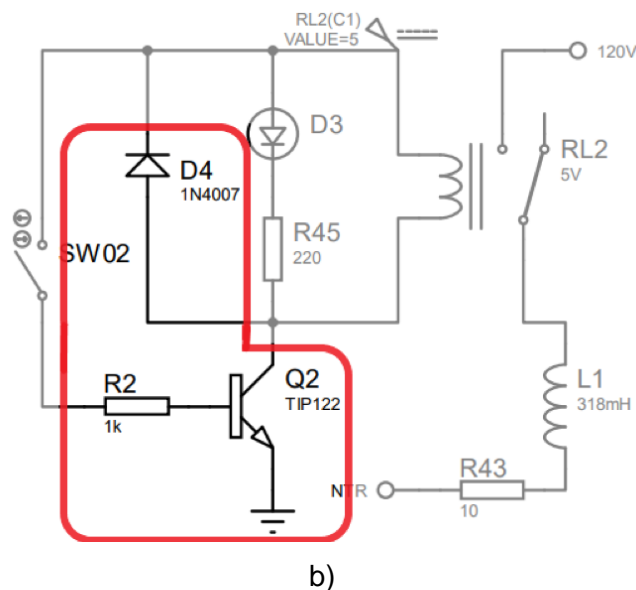


Figura 3.20 Acondicionamiento para actuadores (Fuente Propia)

Para determinar las características de los elementos que conforman estos circuitos se deben tomar en cuenta la potencia consumida por el devanado del relé y el circuito del led indicador.

El relé que forma parte del circuito tiene una resistencia en su devanado de 125 (Ω) como muestra la Figura 3.21 y consume una corriente igual a

$$I = V / R \quad \text{Ecuación 3.21}$$

Si $V = 5$ (V_{DC})

$$I = 5 / 125 \quad \text{Ecuación 3.22}$$

$$I = 0,04 \text{ (A)} \quad \text{Ecuación 3.23}$$

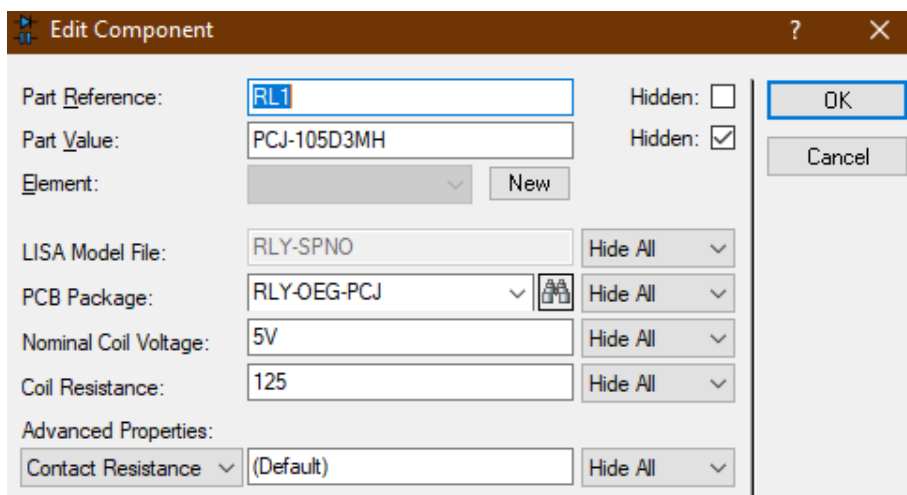


Figura 3.21 Características relés (Fuente Propia)

La corriente optima de funcionamiento del LED indicador es de 20 (mA) por lo tanto la resistencia es igual a:

	$R = V / I$	Ecuación 3.24
Si $V = 5 (V_{DC})$	$R = 5 / 0,02$	Ecuación 3.25
	$R = 220 (A)$	Ecuación 3.26

Por lo tanto, el transistor debe soportar una corriente colector emisor de 0,06 (A), una tensión colector emisor de 5 (V_{DC}) y una tensión base emisor de 5 (V_{DC}), que corresponde al voltaje que proporciona el microcontrolador.

En consecuencia, se eligió el transistor TIP122 y que cuenta con las siguientes características:

- Voltaje colector - emisor = 100 (V)
- Voltaje base - emisor = 5 (V)
- Corriente colector = 5 (A)
- Corriente de corte = 5 (mA)

Si la corriente de corte es igual a 5 (mA) y el voltaje base emisor a 5 (V_{DC}) entonces el valor de resistencia es:

	$R = V / I$	Ecuación 3.27
	$R = 5 / 0,05$	Ecuación 3.28
	$R = 1000 (\Omega)$	Ecuación 3.29

Y la potencia mínima permisible de la resistencia es igual a:

	$P = V \cdot I$	Ecuación 3.30
	$P = 5 / 0,005$	Ecuación 3.31
	$P = 25 (mW)$	Ecuación 3.32

Finalmente, el diodo conectado en antiparalelo debe permitir bloquear una tensión de 5 (V_{DC}) y el diodo 1N4007 cumple ese requisito con sus características, las cuales se nombran a continuación:

- Máxima tensión de bloqueo = 1000 (V_{DC})
- Voltaje RMS máximo = 700 (V_{AC})
- Máxima corriente directa = 1 (A)
- Máxima tensión directa = 1,1 (V)
- Bajo costo

ACTUADORES

En este caso los actuadores son los relés de 5 (V_{DC}) identificados como RL1, RL2, RL3, RL4, RL5, RL6, RL7C, RL8C, RL9C, RL10C, RL11C y RL12C en las Figura 3.22 y Figura 3.24.

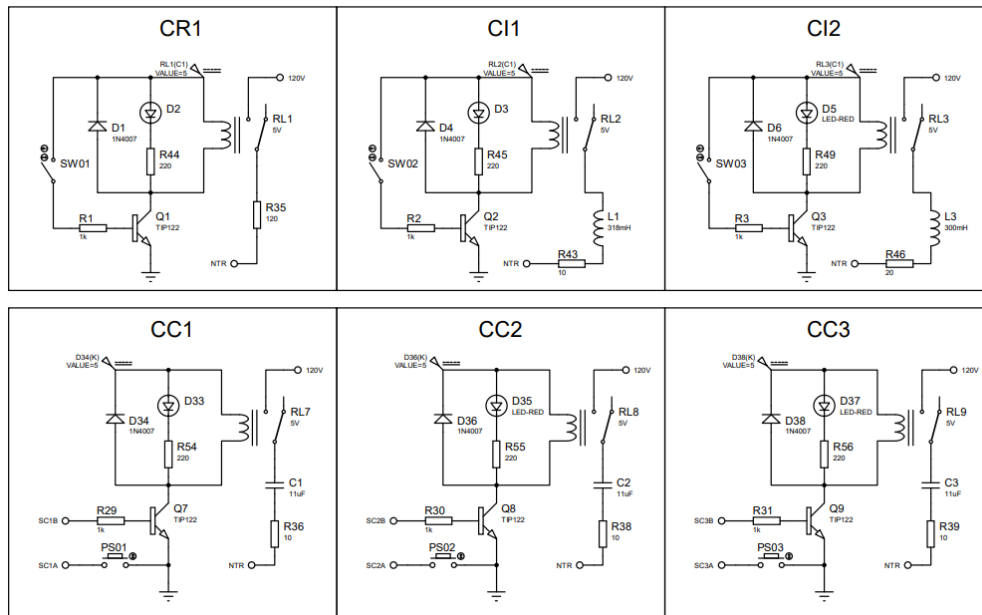


Figura 3.22 Circuito de actuadores, sección 1 (Fuente Propia)

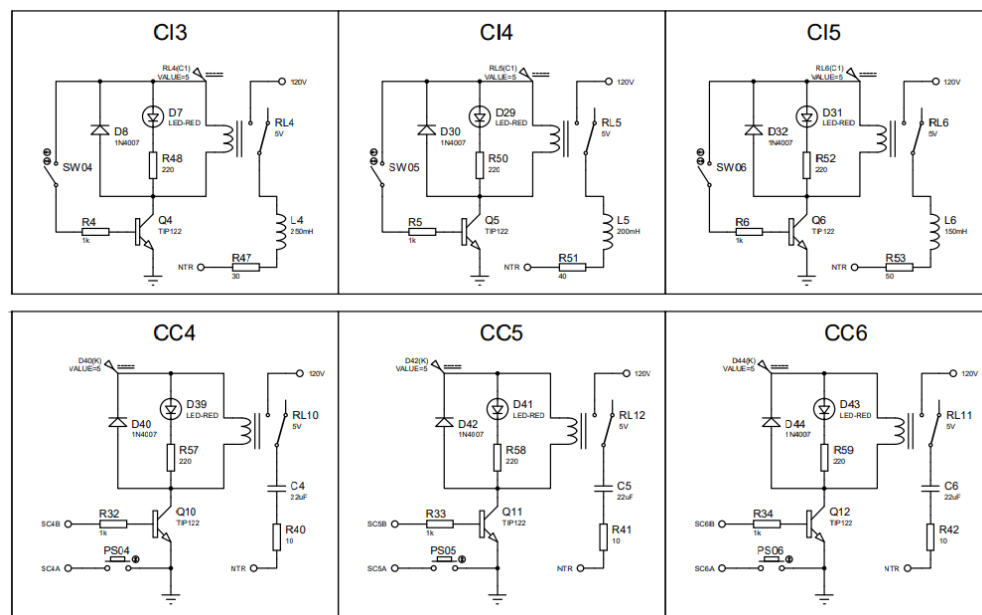


Figura 3.23 Circuito de actuadores, Sección 2 (Fuente Propia)

PRESENTACIÓN

Los datos se presentan en una pantalla LCD de 4 filas y 20 columnas (Figura 3.24), los terminales que allí se distinguen corresponden a los ya mencionados en la Tabla 3.8. Los datos que se presentan son lo que se encuentran en la Figura 3.25.

- a. **Voltaje (V).** Es el voltaje RMS de la fuente.
- b. **Corriente (I).** Es la corriente consumida por las cargas energizadas en el momento de tomar el dato.
- c. **Ángulo de potencia (th).** Es el ángulo de desfase entre la onda de corriente y la de voltaje.
- d. **Factor de potencia (fp).** Es la relación de la potencia activa P a la potencia aparente S es decir P/S (Wildi et al., 2007).
- e. **Potencia aparente (S).** Es el resultado de multiplicar voltaje RMS y la corriente RMS.
- f. **Potencia reactiva (Q).** Es la potencia que se consume para producir campo magnético (Wildi et al., 2007).
- g. **Potencia activa (P).** Es la potencia que produce un resultado tangible como luz, calor o potencia mecánica (Wildi et al., 2007).

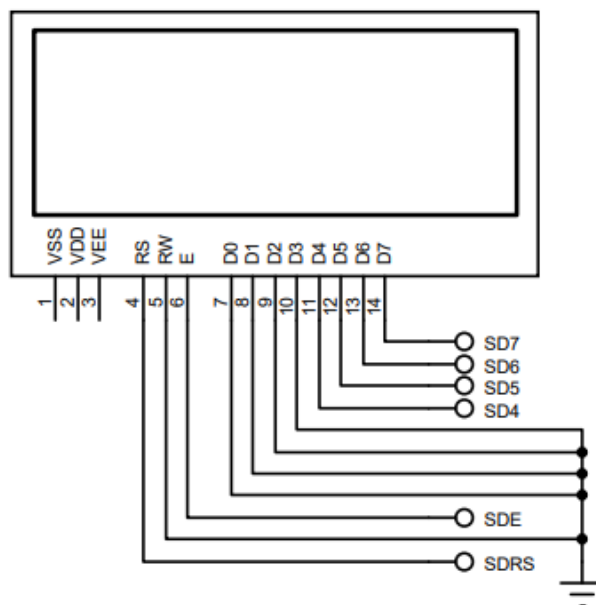


Figura 3.24 Pantalla LCD (Fuente Propia)

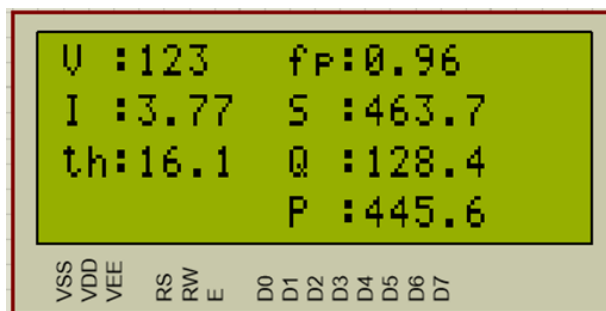


Figura 3.25 Datos LCD (Fuente Propia)

Además, los leds que se muestran en la Figura 3.26 alertarán al usuario de las cargas que se encuentren energizadas. Los leds se encuentran conectados en paralelo a las cargas correspondientes así que se valen del mismo circuito acondicionador.

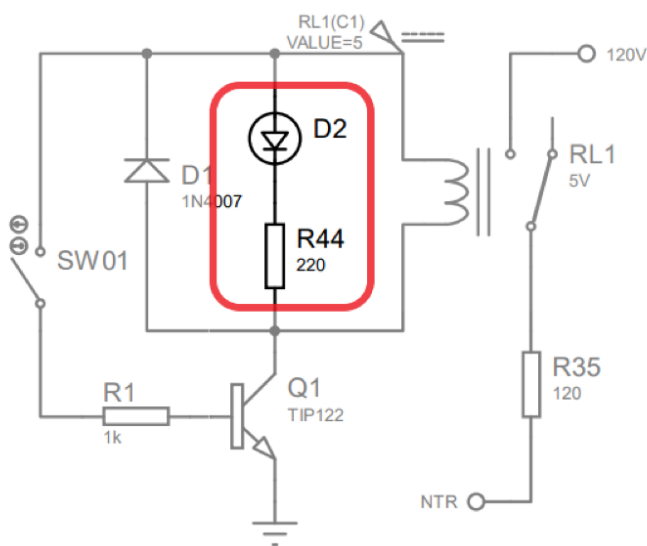


Figura 3.26 Leds indicadores (Fuente Propia)

ALGORITMO

El algoritmo de control se ha programado en lenguaje en C y ha sido verificado y compilado en la aplicación Arduino 1.8.13.

El algoritmo se encuentra en el manual de configuración del Anexo C con cada instrucción comentada.

Por otra parte, a continuación, se presenta el diagrama de flujo (Figura 3.27) dicho diagrama ayuda a comprender gráficamente el algoritmo de control que se ha utilizado para el funcionamiento de la simulación.

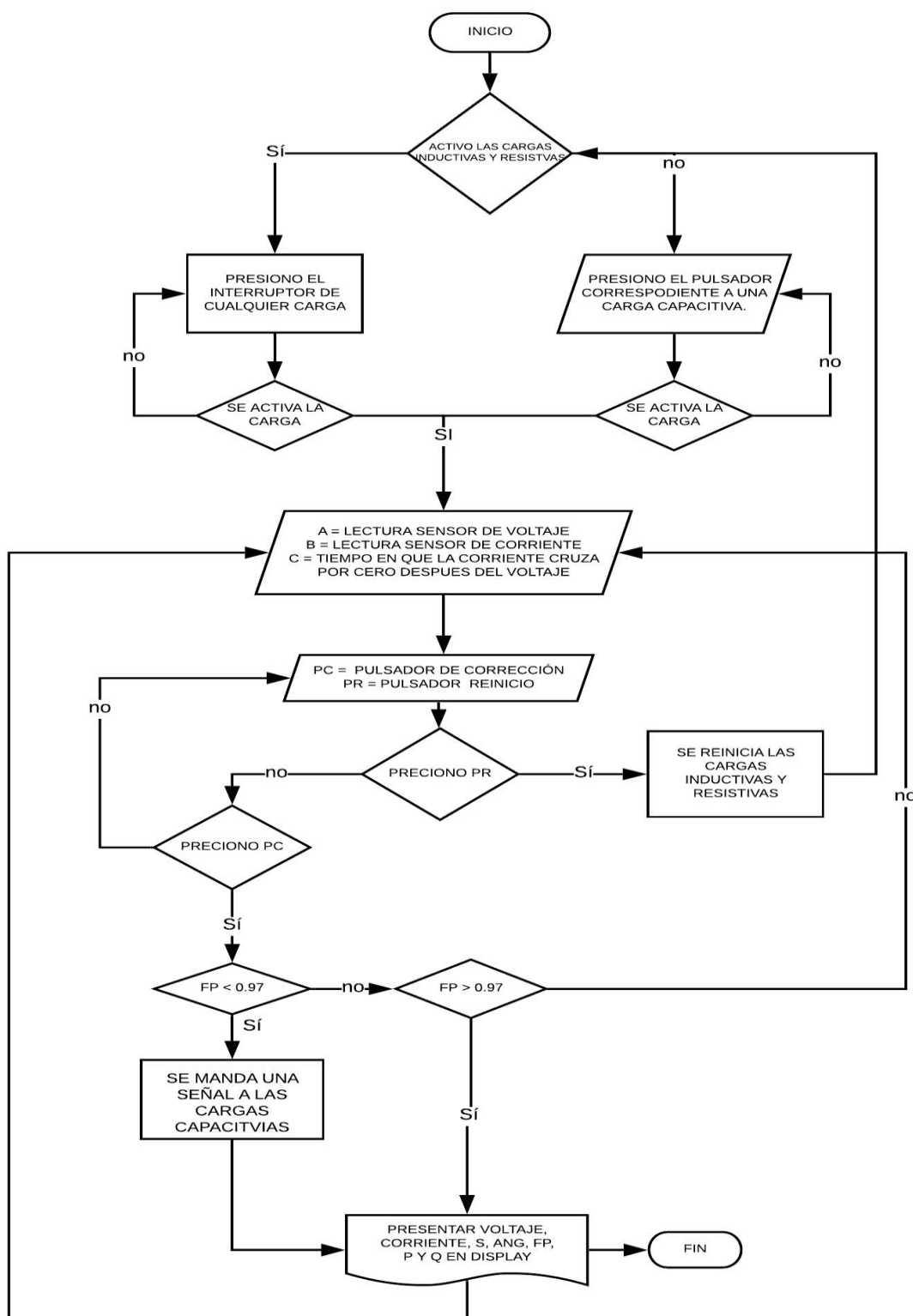


Figura 3.27 Diagrama de flujo (Fuente Propia)

CONTROL

El supervisor podrá evaluar el estado del sistema mediante la etapa de presentación y podrá enviar información al controlador a través de los pulsadores e interruptores que se muestran en la Figura 3.28, cada pulsador está conectado al controlador como lo indica la Tabla 3.8. Los pulsadores YR y XC están destinados a las funciones de reinicio y corrección respectivamente, los demás pulsadores tienen la función de activar y desactivar las cargas disponibles, como se muestra en la Tabla 3.9.

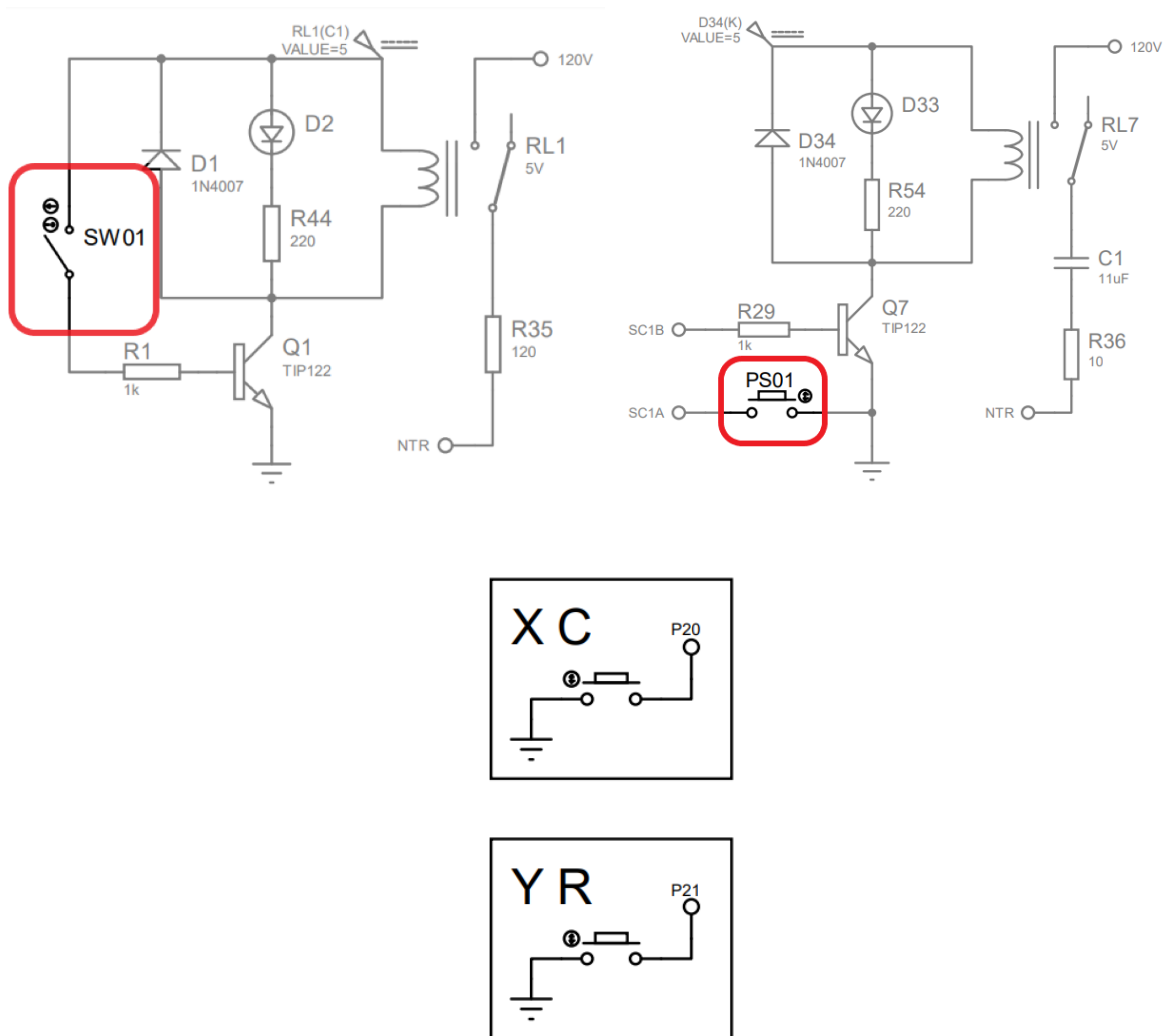


Figura 3.28 Pulsadores e interruptores (Fuente Propia)

Tabla 3.9 Pulsadores, interruptores y su función

CÓDIGO	FUNCIÓN/CARGA
XR	Reiniciar
YC	Corregir
SW01	Carga resistiva
SW02	Primera carga inductiva
SW03	Segunda carga inductiva
SW04	Tercera carga inductiva
SW05	Cuarta carga inductiva
SW06	Quinta carga inductiva
CC1	Primera carga capacitiva
CC2	Segunda carga capacitiva
CC3	Tercera carga capacitiva
CC4	Cuarta carga capacitiva
CC5	Quinta carga capacitiva
CC6	Sexta carga capacitiva

(fuente propia)

Se podrán activar la totalidad de las cargas, de forma individual y sin ninguna restricción.

El algoritmo puede ejecutar la función de corregir y la de reiniciar de la forma que se indican a continuación.

La función corregir se activa al presionar el pulsador X C. Para entender las acciones que el controlador efectúa de manera automática cuando se activa esta función, se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

La mayoría de las cargas son de naturaleza inductiva y la manera habitual de mejorar el factor de potencia es generara potencia reactiva por medio de la adición de condensadores en paralelo (Chacón de Antonio, 2003), por eso se ha construido un sistema simulado con cargas inductivas y se ha dispuesto capacitores para corregir el factor de potencia.

La Figura 3.29 pone de manifiesto la reducción de la intensidad de suministro como consecuencia de la adición del condensador. Por ello, el algoritmo está diseñado para detectar un bajo factor de potencia e inyecta capacitores hasta alcanzar un factor de potencia mínimo de 0,92.

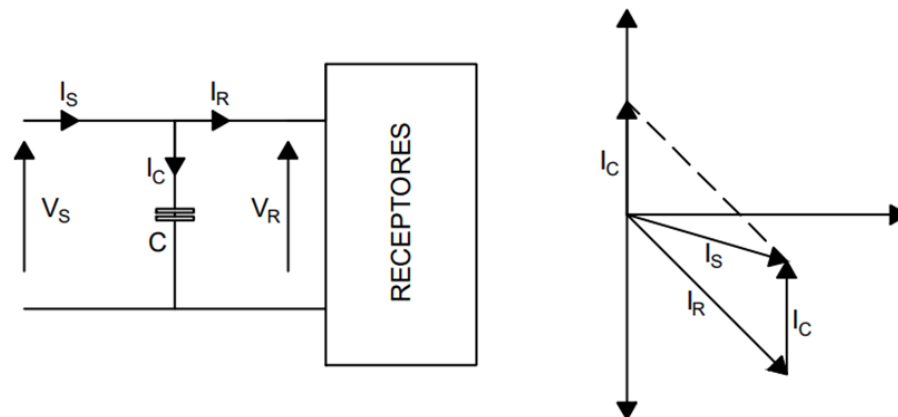


Figura 3.29 Mejora del factor de potencia (Chacón de Antonio, 2003)

FORMAS DE ONDA

A continuación, se describen varias formas de onda obtenidas al momento de activar ciertas cargas en la simulación, de esta manera se podrá comprobar el desfase que existe entre el voltaje y corriente con ciertas cargas, además de poder visualizar como dicho desfase va disminuyendo si se activan las cargas capacitivas.

En la Figura 3.30 se observa la forma de onda al activar solamente la carga resistiva (CR1) y debido a que esta no consume potencia reactiva no se puede ver que exista desfase entre las ondas de voltaje (onda amarilla) y corriente (onda azul).

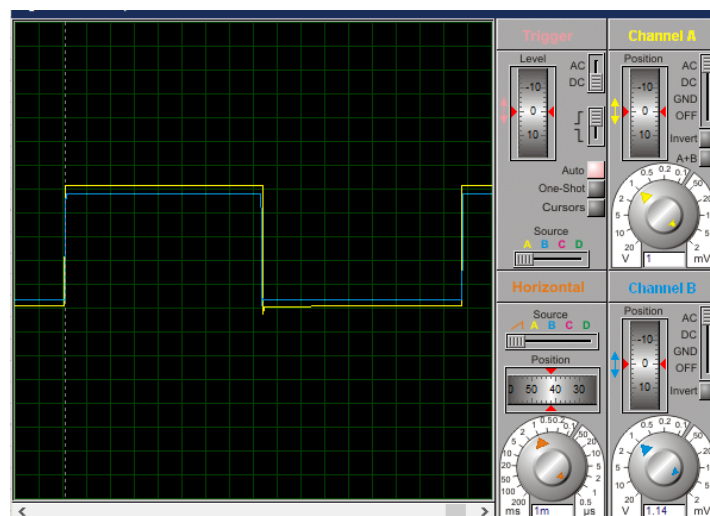


Figura 3.30 Formas de onda con carga resistiva (Fuente Propia)

En la Figura 3.31 se tienen las formas de onda al estar activadas dos tipos de cargas, una resistiva (CR1) y otra inductiva (CI1), al tener dicha carga inductiva la potencia reactiva que esta consume produce el desfase que se puede observar.

Para verificar que estas ondas pertenecen a una carga inductiva basta con fijarse que el voltaje (onda amarilla) está adelantado a la corriente (onda azul) y al estar combinada con una carga resistiva dicho desfase no es de 90° como lo sería en el caso de que fuera solo una carga inductiva pura.

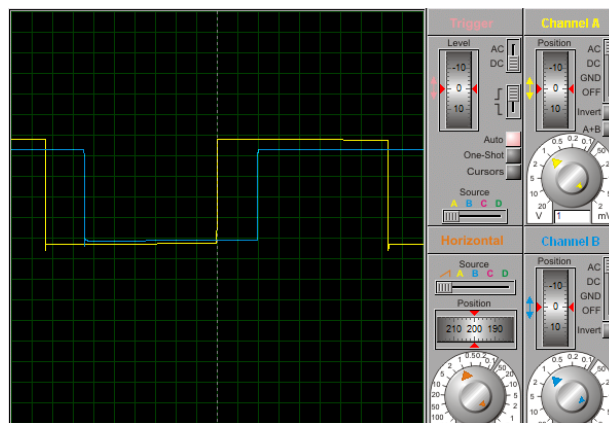


Figura 3.31 Formas de onda carga R+L (Fuente Propia)

En la Figura 3.32 se muestran las formas de onda al estar activada la carga Resistiva (CR1), inductiva (CI1) y capacitiva (CC1), estas formas de onda a diferencia de las mostradas en la Figura 3.31 se puede observar que el desfase del voltaje con respecto a la corriente es mucho menor, esto se debe a la carga capacitiva ya que esta compensa la potencia que se disipa por las otras cargas por lo que dicho desfase ha disminuido un poco.

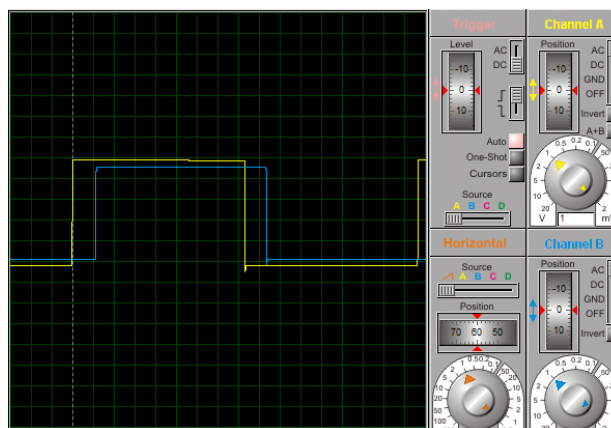


Figura 3.32 Formas de onda carga R+L+C (Fuente Propia)

En la Figura 3.33 se puede observar que en las ondas ya no existe ningún desfase, esto se debe a que se ha compensado la forma de onda de la Figura 3.32 con otro capacitor (CC2) lo que provocó que el desfase restante disminuya y por lo tanto ayuda a que el circuito no disipe y no consuma demasiada energía.

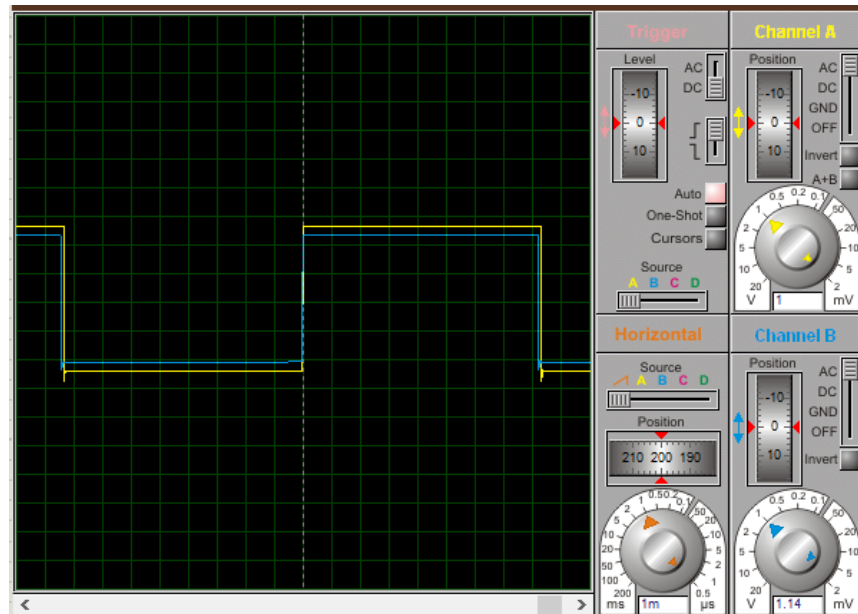


Figura 3.33 Desfase compensado (Fuente Propia)

3.4 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIONES

Las partes de esta sección tratan los requisitos de la protección contra sobre corriente.

POTENCIA NOMINAL DEL CIRCUITO.

Para obtener los valores de potencia aparente (S), potencia reactiva (Q) y potencia activa (P) se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$S = V \cdot I \quad \text{Ecuación 3.33}$$

$$Q = S \cdot \text{Sen}(\theta) \quad \text{Ecuación 3.34}$$

$$P = S \cdot \text{Cos}(\theta) \quad \text{Ecuación 3.35}$$

Donde:

θ = ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente.

Y donde los valores de I y V de cada carga se encuentran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Voltaje y corriente de cargas simulado.

CARGA	TIPO	CORRIENTE	VOLTAJE
1	Resistiva	1 L 0	120 L 0
2	Inductiva	0,5 L -82	120 L 0
3	Inductiva	1 L -80	120 L 0
4	Inductiva	1,2 L -72	120 L 0
5	Inductiva	1,4 L -62	120 L 0
6	Inductiva	1,6 L -48	120 L 0
7	Capacitiva	0,5 L 88	120 L 0
8	Capacitiva	0,5 L 88	120 L 0
9	Capacitiva	0,5 L 88	120 L 0
10	Capacitiva	1 L 85	120 L 0
11	Capacitiva	1 L 85	120 L 0
12	Capacitiva	1 L 85	120 L 0

(fuente propia)

Como se puede observar en la Tabla 3.11, el mayor consumo de potencia se da en el caso número dos, cuando están conectadas simultáneamente todas las cargas inductivas y resistivas y la potencia aparente alcanza los 720 (VA), por ende, se tomará dicho valor como potencia nominal del circuito para dimensionar sus protecciones eléctricas.

Tabla 3.11 Demanda de potencia simulada

DEMANDA DE POTENCIA				
Caso	Cargas	Potencia aparente (VA)	Potencia reactiva (VAR)	Potencia activa (W)
1	R	120	-1	120
2	R + L	720	-611	382
3	C	540	539	28
4	R + L + C	456	-126	438

(Fuente Propia)

INTENSIDAD DE CORRIENTE NOMINAL

Habiendo determinado la potencia máxima consumida por los circuitos, se procede a determinar la corriente que circulara por los conductores que energizaran todas las ramas del circuito, para lo cual se usa la siguiente formula:

$$I = S / V \quad \text{Ecuación 3.36}$$

Donde:

S = potencia aparente

I = corriente nominal

V = voltaje nominal

Los valores de potencia aparente para cada caso se encuentran en la Tabla 3.11

Tabla 3.12 Demanda de corriente

DEMANDA DE CORRIENTE			
Caso	Cargas	I (A)	Th (°)
1	R	1	0
2	R + L	6	-58
3	C	4,5	87
4	R + L + C	3,8	-16

(fuente propia)

Tomando en cuenta los datos de la Tabla 3.12 se determinó que la Intensidad de corriente máxima simultánea (I_n) es:

$$I_n = 6 \angle -58^\circ \quad \text{Ecuación 3.37}$$

CALIBRE DE LOS CONDUCTORES

Para la selección del calibre de los conductores se asumirá que las cargas inductivas son motores de baja potencia debido a que el Código Eléctrico Nacional no considera específicamente cargas inductivas.

Por lo tanto, se tomará como referencia el artículo 430-24 del Código Eléctrico Nacional que dice: " Los conductores de suministro de varios motores o un motor(es) y otra(s) carga(s) deben tener una capacidad de corriente como mínimo igual a la suma de las corrientes a plena carga de todos los motores, más el 25 % de la capacidad de corriente del mayor motor del grupo, más la capacidad de corriente de todas las demás cargas" (CPE INEN, 2001).

Es decir que, tomando en cuenta los datos de corriente expuestos en la Tabla 3.12 y la Tabla 3.25, la capacidad de corriente de los conductores de suministro de las cargas inductivas y resistivas es igual a:

$$I_{C1} = [(6 \angle -58^\circ - 1 \angle 0^\circ) + (1,6 \angle -48^\circ) \cdot 0,25] + 1 \angle 0^\circ \quad \text{Ecuación 3.38}$$

$$I_{C1} = [5,5 \angle -66^\circ + 0,4 \angle -48^\circ] + 1 \angle 0^\circ \quad \text{Ecuación 3.39}$$

$$I_{C1} = 5,9 \angle -65 + 1 \angle 0^\circ \quad \text{Ecuación 3.40}$$

$$I_{C1} = 6,4 \angle -57 \quad \text{Ecuación 3.41}$$

Donde:

I_{C1} = corriente para el cálculo de conductores para cargas R + L

En el cálculo anterior no se tomó en cuenta las cargas capacitivas por el motivo que se explicó en la sección “POTENCIA NOMINAL DEL CIRCUITO” y se dimensionará los conductores específicos para el circuito de condensadores que cumplan con lo estipulado en el artículo 460-8 del Código Eléctrico Nacional que dice: “La capacidad de corriente de los conductores de un circuito de condensadores no debe ser menor al 135 % de la corriente nominal del condensador. La capacidad de corriente de los conductores que conecten un condensador con los terminales de un motor o con los conductores de un circuito de motores, no debe ser menor a 1/3 de la capacidad de corriente de los conductores del circuito del motor y en ningún caso menor al 135% de la corriente nominal del condensador” (CPE INEN, 2001).

Es decir que, tomando en cuenta los datos de corriente expuestos en la Tabla 3.12 , la capacidad de corriente de los conductores de suministro de las cargas capacitivas es igual a:

$$I_{C2} = (4,5 \angle 84^\circ) \cdot 1,35 \quad \text{Ecuación 3.42}$$

$$I_{C2} = 6,1 \angle 84^\circ \quad \text{Ecuación 3.43}$$

Donde:

I_{C2} = corriente para el cálculo de conductores para cargas C

I_{C2} debe cumplir la condición:

$$I_{C2} \geq (I_{C1} / 3)$$

$$I_{C1} / 3 = (6,4 \angle -57^\circ) / 3 \quad \text{Ecuación 3.44}$$

$$I_{C1} / 3 = 2,1 \angle -57^\circ \quad \text{Ecuación 3.45}$$

Del procedimiento anterior se puede entender que el resultado de I_{C2} cumple con la normativa vigente y puede ser tomada como referencia para el dimensionamiento de los conductores.

Por último, se tomará en cuenta el artículo 470-4 del Código Eléctrico Nacional que dice: “Los conductores aislados que se utilicen para conectar elementos resistidos y controladores, deben ser adecuados para funcionar a una temperatura no menor a 90° C” (CPE INEN, 2001).

La Tabla 3.13 muestra la temperatura nominal de los tipos de conductores. Debido a la presencia de una carga resistiva en el circuito, los conductores deberán admitir una temperatura mínima de 90 grados centígrados, es decir del tipo TBS, SA, SIS, FEP, MI, RHH, RHW, THHN, THHW, USE-E, XHH, XHHW o ZW.

Tabla 3.13 Temperatura del conductor

SECCIÓN TRANSVERSAL	TEMPERATURA NOMINAL DEL CONDUCTOR						CALIBRE
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	Tipo TW*, UF	Tipos FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	Tipos TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-E, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2.	Tipos TW*, UF*	Tipos RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	Tipos TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2.	
mm ²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils

(CPE INEN, 2001).

La Tabla 3.14 muestra la capacidad de corriente según el conductor.

Tabla 3.14 Sección transversal.

SECCIÓN TRANSVERSAL		CAPACIDAD DE CORRIENTE (A)
Mm ²	AWG	
0,82	18	6
1,31	16	8
2,08	14	17
3,30	12	23
5,25	10	28

(CPE INEN, 2001)

Debido a los resultados obtenidos para I_{c1} e I_{c2} el conductor debe contar con una sección transversal de 1,31 milímetros cuadrados y con una capacidad de corriente de 8 amperios.

Tomando en cuenta los requisitos anteriores y valiéndose del catálogo de productos del fabricante de cable Conelsa, se seleccionó el cable de control ULTRAFEX THHN 600 V 90 °C AWG 14, cuyas características se especifican en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15 AWG 14

CALIBRE	ÁREA (MM ²)	PESO (KG/KM)	CAPACIDAD DE CORRIENTE (A)
14	2,08	25	25

(CONELSA, 2020)

CAPACIDAD DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE

Para determinar la capacidad nominal del aparato de control se tomará como referencia el artículo 430-126 del Código Eléctrico Nacional que dice: “La corriente máxima de disparo de los relés de sobre corriente (sobrecarga) o de otros dispositivos de protección de los motores, no debe superar el 115 % de la capacidad nominal continua de corriente del controlador” (CPE INEN, 2001).

Entonces la capacidad del dispositivo de protección de sobre corriente (I_s) debe ser igual a:

$$I_s = I_n \cdot 1,15 \quad \text{Ecuación 3.46}$$

$$I_s = (6 \angle -58^\circ) \cdot 1,15 \quad \text{Ecuación 3.47}$$

$$I_s = 6,9 \angle -58^\circ \quad \text{Ecuación 3.48}$$

Además, el número de dispositivos de protección se especifican en el artículo 430-37 del Código Eléctrico Nacional que dice: “Cuando se proteja un motor contra sobrecarga por dispositivos que no sean fusibles, el número mínimo y la posición de los dispositivos de sobrecarga como bobinas de disparo o relees, vienen determinados por la Tabla 430-37” (CPE INEN, 2001). La información que contiene la tabla 430-37 del Código Eléctrico Nacional se trasladó a la Tabla 3.16.

Tabla 3.16. Número de dispositivos de sobrecarga

CLASE DE MOTOR	SISTEMA DE SUMINISTRO	NÚMERO Y UBICACIÓN DE LAS UNIDADES DE SOBRECARGA
Monofásico de a.c o c.c.	Dos hilos, una fase de a.c o c.c. sin hilo puesto a tierra.	1 en cualquier conductor.
Monofásico de a.c o c.c.	Dos hilos, una fase de a.c o c.c. un conductor puesto a tierra.	1 en el conductor no puesto a tierra.

CLASE DE MOTOR	SISTEMA DE SUMINISTRO	NÚMERO Y UBICACIÓN DE LAS UNIDADES DE SOBRECARGA
Monofásico de a.c o c.c.	Tres hilos, una fase de a.c o c.c. con neutro puesto a tierra.	1 en cualquier conductor no puesto a tierra.
Monofásico de a.c.	Cualquiera de tres fases.	1 en el conductor no puesto a tierra.
Dos fases de a.c	Tres hilos, dos fases de a.c sin hilo puesto a tierra.	2 uno en cada fase.
Dos fases de a.c	Tres hilos, dos fases de a.c con un conductor puesto a tierra.	2 en los conductores no puestos a tierra.
Dos fases de a.c	Cuatro hilos, dos fases de a.c con un neutro puesto o no a tierra.	2, 1 por cada fase en los conductores no puestos a tierra.
Dos fases de a.c	Cinco hilos, dos fases de a.c con un neutro puesto o no a tierra.	2, 1 por fase en cualquier hilo de fase no puesto a tierra.
Trifásico de a.c	Tres fases cualesquiera.	3, 1 por cada fase.

(CPE INEN, 2001).

Considerando que el proyecto esta dimensionado para funcionar con una fase a 120 (V_{AC}), el número de unidades de sobrecarga es uno, en un conductor no puesto a tierra, tomando en cuenta los requisitos anteriores y valiéndose del catálogo de productos del fabricante SCHNEIDER_ELECTRIC ("Interruptor automático en miniatura - Acti 9 iC60 | Schneider Electric Colombia", 2020), se seleccionó el interruptor automático Acti 9 iC60 que trabaja a una corriente nominal de 6 A y un polo, cuya ficha técnica se halla en el Anexo D.

3.5 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se han realizado diferentes pruebas las cuales ayudan a comprobar el correcto funcionamiento de la simulación propuesta en este documento, dichas pruebas se van explicando una a una a continuación.

- **PRUEBA FUNCIONAL DE LOS ACTUADORES Y LUCES INDICADORAS.**

Se procedió a iniciar la simulación para luego una por una ir activando las cargas con la ayuda de sus respectivos pulsadores en el caso de las cargas capacitivas e interruptores en el caso de las cargas inductivas y resistiva, al activar dichas cargas se puede comprobar que los leds conectados de forma paralela al relé se encienden, dando así la señal de que la carga ha entrado en funcionamiento.

Tabla 3.17 Verificación de actuadores y luces indicadoras

TIPO DE CARGA	ACTUADOR	LUZ INDICADORA
Resistiva	correcto	correcto
Inductiva 1	correcto	correcto
Inductiva 2	correcto	correcto
Inductiva 3	correcto	correcto
Inductiva 4	correcto	correcto
Inductiva 5	correcto	correcto
Capacitiva 1	correcto	correcto
Capacitiva 2	correcto	correcto
Capacitiva 3	correcto	correcto
Capacitiva 4	correcto	correcto
Capacitiva 5	correcto	correcto
Capacitiva 6	correcto	correcto

(Fuente propia)

En la Tabla 3.17 se muestra el resultado de la prueba, en esta se puede determinar que tanto los actuadores y leds funcionan de forma correcta cuando la simulación entra en funcionamiento.

- **PRUEBA DE EJECUCIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL**

Esta prueba verificará la inserción y ejecución correcta del algoritmo de control en el programa Proteus.

Tabla 3.18 Prueba de algoritmo

FUNCIÓN	EJECUCIÓN
Lectura del código en formato hexadecimal	Correcta

FUNCIÓN	EJECUCIÓN
Lectura de los canales analógico	Correcta
Lectura de los canales digitales	Correcta
Lectura de los pines con función de interrupción	Correcta
Respuesta de los pines configurados como salidas digitales	Correcta
Frecuencia de reloj	Correcta
Resistencias de pull up integradas	Correcta

(fuente propia)

La Tabla 3.18 muestra que el código funciona correctamente junto con el microcontrolador Arduino Mega disponible en el programa de simulación.

- **PRUEBA DE CIRCUITO ACONDICIONADOR**

Se comprobó las funciones que cumple el circuito acondicionador.

Tabla 3.19 Prueba circuito acondicionador

FUNCIÓN	EJECUCIÓN
Factor de transferencia	Correcta
Rectificación a semiciclos positivos	Correcta
Voltaje de entrada sin recortes	Correcta
Voltaje de salida sin ruido	Correcta

(fuente propia)

La Tabla 3.19 muestra que el circuito acondicionador cumple correctamente sus funciones.

- **PRUEBA DE LECTURA DE DATOS.**

Para comprobar la exactitud de los datos que arroja la simulación se procedió a poner en funcionamiento cada carga y verificar el valor de voltaje y corriente que estas consumen, así como sus respectivas potencias y el factor de potencia correspondiente.

A continuación, se muestran los diferentes casos obtenidos al comprobar los valores ideales (Calculados mediante fórmulas) y reales (Arrojados por la simulación).

Caso 1. Cuando la carga 1 de reactancia iguala 120 (Ω) está activada, la Tabla 3.20 muestra los valores esperados y los obtenidos reportando un error máximo de $\pm 1,25$ (VAR).

Tabla 3.20 Prueba caso 1

VARIABLE	VALOR IDEAL	VALOR REAL	ERROR \pm
Corriente (A)	1,00	1,00	0,00
Desfase ($^{\circ}$)	0,0	0,7	0,7
fp ideal	1,00	1,00	0,00
Potencia aparente (VA)	120,0	120,0	0,0
Potencia reactiva (VAR)	0,0	1,3	1,3
Potencia activa (W)	120,0	120,0	0,0

(fuente propia)

Caso 2. Cuando la carga 2 de reactancia 44-242j (Ω) está activada, la Tabla 3.21 muestra los valores esperados y los obtenidos reportando un error máximo de $\pm 1,5$ (W).

Tabla 3.21 Prueba caso 2

Variable	Valor Ideal	Valor Real	Error \pm
Corriente (A)	0,49	0,5	0,01
Desfase ($^{\circ}$)	79,7	81	1,30
fp ideal	0,17	0,14	0,03
Potencia aparente (VA)	58,8	60	1,20
Potencia reactiva (VAR)	57,9	59,4	1,50
Potencia activa (W)	10,5	9	1,50

(fuente propia)

Caso 3. Cuando la carga 3 de reactancia 20-113.1j (Ω) esta activada, la Tabla 3.22 muestra los valores esperados y los obtenidos reportando un error máximo de $\pm 1,1$ (W).

Tabla 3.22 Prueba caso 3

VARIABLE	VALOR IDEAL	VALOR REAL	ERROR \pm
Corriente (A)	1,04	1,04	0,00
Desfase ($^{\circ}$)	80,00	80,40	0,4
fp ideal	0,17	0,17	0,00
Potencia aparente (VA)	125,40	124,80	0,6
Potencia reactiva (VAR)	123,50	123,10	0,4
Potencia activa (W)	21,80	20,70	1,1

(Fuente propia)

Caso 4. Cuando la carga 4 de reactancia 30-94.2j (Ω) esta activada, la Tabla 3.23 muestra los valores esperados y los obtenidos reportando un error máximo de $\pm 0,5$ (VA).

Tabla 3.23 Prueba caso 4

VARIABLE	VALOR IDEAL	VALOR REAL	ERROR \pm
Corriente (A)	1,21	1,21	0,00
Desfase ($^{\circ}$)	72,30	72,50	0,2

VARIABLE	VALOR IDEAL	VALOR REAL	ERROR \pm
fp ideal	0,30	0,30	0,00
Potencia aparente (VA)	145,70	145,20	0,5
Potencia reactiva (VAR)	138,80	138,50	0,3
Potencia activa (W)	44,20	43,70	0,5

(fuente propia)

Caso 5. Cuando la carga 5 de reactancia $40-75,4j$ (Ω) esta activada, la Tabla 3.24 muestra los valores esperados y los obtenidos reportando un error máximo de $\pm 1,9$ (VA).

Tabla 3.24 Prueba caso 5

VARIABLE	VALOR IDEAL	VALOR REAL	ERROR \pm
Corriente (A)	1,41	1,39	0,02
Desfase ($^\circ$)	62,10	62,10	0,0
fp ideal	0,47	0,47	0,00
Potencia aparente (VA)	168,70	166,80	1,9
Potencia reactiva (VAR)	149,00	147,50	1,5
Potencia activa (W)	79,10	77,90	1,2

(Fuente propia)

Caso 6. Cuando la carga 6 de reactancia $50-56,6j$ (Ω) esta activada, la Tabla 3.25 muestra los valores esperados y los obtenidos reportando un error máximo de ± 1 (W).

Tabla 3.25 Prueba caso 6

VARIABLE	VALOR IDEAL	VALOR REAL	ERROR \pm
Corriente (A)	1,59	1,57	0,02
Desfase ($^\circ$)	48,20	48,50	0,3
fp ideal	0,67	0,66	0,01
Potencia aparente (VA)	191,80	191,50	0,3
Potencia reactiva (VAR)	143,10	143,50	0,4
Potencia activa (W)	127,80	126,80	1,0

(Fuente propia)

Caso 7. Cuando la carga 7, 8 o 9 de reactancia $10+241j$ (Ω) esta activada, la Tabla 3.26 muestra los valores esperados y los obtenidos reportando un error máximo de $\pm 1,52$ (W).

Tabla 3.26 Prueba caso 7

VARIABLE	VALOR IDEAL	VALOR REAL	ERROR \pm
Corriente (A)	0,50	0,51	0,01
Desfase ($^\circ$)	-87,60	-86,30	1,3
fp ideal	0,04	0,07	0,03
Potencia aparente (VA)	59,70	61,20	1,5
Potencia reactiva (VAR)	-59,60	-61,10	1,5

VARIABLE	VALOR IDEAL	VALOR REAL	ERROR \pm
Potencia activa (W)	2,48	4,00	1,5

(Fuente propia)

Caso 8. Cuando la carga 10, 11 o 12 de reactancia $10+121j$ (Ω) esta activada, la Tabla 3.27 muestra los valores esperados y los obtenidos reportando un error máximo de $\pm 1,4$ (VA).

Tabla 3.27 Prueba caso 8

VARIABLE	VALOR IDEAL	VALOR REAL	ERROR \pm
Corriente (A)	0,99	1,00	0,01
Desfase ($^\circ$)	-85,30	-85,20	0,1
fp ideal	0,08	0,08	0,00
Potencia aparente (VA)	118,60	120,00	1,4
Potencia reactiva (VAR)	-118,20	-119,60	1,4
Potencia activa (W)	9,77	10,00	0,2

(Fuente propia)

Al estudiar los resultados obtenidos en todos los casos anteriores se especifica la precisión del sistema en la Tabla 3.28, interpretando:

Precisión como la magnitud en que la lectura presentada difiere del valor real (Bolton, 1996).

Tabla 3.28 Precisión del sistema

	PRECISIÓN
Voltaje (V)	± 1
Corriente (I)	$\pm 0,02$
Angulo de desfase ($^\circ$)	$\pm 1,3$
Factor de potencia	$\pm 0,03$
Potencia aparente (VA)	$\pm 1,9$
Potencia reactiva (VAR)	$\pm 1,5$
Potencia activa (W)	$\pm 1,5$

(Fuente propia)

- **PRUEBA DE CONSUMO DE CORRIENTE**

Se verificará que el máximo consumo de corriente posible no exceda el rango propuesto.

Tabla 3.29 Demanda de corriente

DEMANDA DE CORRIENTE		
Caso	Cargas	I (A)
1	R	1
2	R + L	6

DEMANDA DE CORRIENTE		
3	C	4,5
4	R + L + C	3,8

(fuente propia)

La Tabla 3.29 revela que el consumo máximo de corriente es de 6 (A) cuando están activas las cargas inductivas y la resistiva, de modo que no se excede la corriente para la cual se dimensionó el sistema.

3.6 MANUAL DE CONFIGURACIÓN

El manual se encuentra en el Anexo C de este documento, allí se encontrará detallado los pasos para ejecutar correctamente la simulación.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Para el diseño de la simulación presentada se ha utilizado varios elementos como lo son, el programa de Arduino para la creación del algoritmo de control que comanda a toda la simulación, el software SolidWorks que permite la realización de un prototipo 3D del módulo basado en la simulación, el programa Proteus 8 en el cual gracias a la gran variedad de elementos eléctricos y electrónicos que este posee se ha logrado la creación de una simulación de fácil comprensión y sencilla de utilizar para los estudiantes.
- La consecuencia directa de un bajo factor de potencia es un mayor consumo de energía, el aumento del consumo de energía reduce la capacidad de conectar cargas adicionales al sistema, aumenta las pérdidas de potencia cuando se transmite largas distancias y reduce la eficiencia de los conductores. Pero hay que tomar en cuenta que la potencia extra que se consume no va destinada para trabajo, como lo sería mover un eje rotor o producir calor o luz, y aunque es necesaria, se puede generar esa potencia extra con elementos pasivos capacitivos, que constituyen un gasto menor ante los problemas citados previamente.
- Al manejar en su totalidad la simulación se podrán aclarar conocimientos básicos acerca de la corrección del factor de potencia y como diferentes cargas influyen de distinta forma en un circuito, además de esto se adquirirá conocimientos en el correcto manejo del programa Proteus y sus distintos elementos, y mediante la correcta lectura del algoritmo de control presentado se conocerá nuevos comandos que podrían ser de utilidad para una mejor comprensión de la programación C en Arduino.
- El prototipo 3D mostrado se lo debe tomar solo como una guía si en un futuro se desea construir un módulo basado en la simulación, debido a que tanto las cargas como los demás elementos utilizados pueden llegar a variar dependiendo de lo que se desee obtener como resultado final, por lo que el diseño de este puede cambiar.
- El diseño de todo sistema eléctrico se ve enormemente afectado por la magnitud del consumo de corriente, prueba de ello es la sección de cálculo de protecciones de este proyecto, por eso la optimización del consumo de corriente mediante la corrección del

factor de potencia es un tema fundamental dentro de los conocimientos de todo estudiante de Electromecánica.

- Se optó por la utilización de un Arduino Mega 2560 y no por un Arduino UNO debido a la cantidad de pines que se necesitan para todos los elementos utilizados especialmente para las cargas y los pulsadores para la activación de estas.

Recomendaciones

- La simulación requiere una alta capacidad de procesamiento por lo que se sugiere usar un equipo que cuente con las siguientes características mínimas: procesador Intel de 2 (GHz), 3 (GB) de RAM y Microsoft Windows 7.
- Cada vez que se quiera iniciar la simulación de debe verificar que el código de Arduino este cargado al microcontrolador caso contrario se deberá seguir los pasos indicados en el manual de configuración.
- En caso de que los valores que arroja la simulación no sean a los presentados en el documento, se debe verificar que el código sea el mismo y a su vez que en el circuito no exista líneas conductoras que estén interfiriendo en la lectura de dichos valores.
- Si se tiene dudas de cómo funciona la simulación se debe utilizar el manual de configuración ya que en este se detalla todo acerca de la misma e incluso se muestra las conexiones de cada uno de los pines del Arduino que se ha utilizado.
- Se sugiere explorar otra posibilidad para corregir el factor de potencia, y replicar el efecto que se ha logrado obtener en este proyecto. Se podría reemplazar los capacitores simples por motores síncronos sobreexcitados sin ejes de salida y por lo tanto sin capacidad de impulsar cargas mecánicas, a este tipo de motores se los conoce como capacitores síncronos.
- Cuando se desee construir el módulo en base a la simulación propuesta en este documento de deberá tener en cuenta que la señal que se obtiene del sensor de corriente real está expuesta a perturbaciones por lo que se deberá utilizar filtros para un muestreo de datos.

- Para la construcción del módulo se deberá tomar en cuenta que la descarga del capacitor puede unir permanentemente los contactos del relé de 5 (V_{DC}) por lo que se deberá utilizar relés de potencia.

5 REFERENCIAS

- Carlos Alberto Garza Correa, R. M. (2014). Análisis de factibilidad técnica y económica de corrección de factor de potencia con banco de capacitores distribuidos en valeo sistemas electrónicos s. de R.L de C.V. Online.
- E. Arcos López y Chizaiza Días, D. (2015). Diseño y construcción de un tablero de control automático para la corrección del factor de potencia, empleado en módulo DCRA. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Electricidad, A. d. (2019). Resoluciones y pliegos tarifarios. Online.
- Hiziroglu, B. S. (2006). Maquinas eléctricas y transformadores. Alfaomega.
- Kosow, I. (2005). Maquinas eléctricas y transformadores. Barcelona: Reverte.
- Morales, F. (2014). Tipos de investigación. Lima: Publicación Universidad Católica de Perú.
- Moreira., P. (2016). Análisis e implementación de un banco de condensadores para la mejora del factor de potencia en una industria de reciclaje de plásticos. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Arduino Mega 2560 Rev3 | Arduino Official Store. Store.Arduino.Cc. (2020). Retrieved 4 July 2020, From [Https://Store.Arduino.Cc/Usa/Mega-2560-R3](https://Store.Arduino.Cc/Usa/Mega-2560-R3).
- Frequently Asked Questions | Presales Questions - Proteus. Labcenter.Com. (2020). Retrieved 4 July 2020, From [Https://Www.Labcenter.Com/Faq/](https://Www.Labcenter.Com/Faq/).
- Texas Instruments. (2015). Opax22x High Precision, Low Noise Operational Amplifiers [Ebook] (P. 1). Texas Instruments. Retrieved 4 July 2020, From [Https://Www.Ti.Com/](https://Www.Ti.Com/).
- Pallás Areny, R. (2003). Sensores Y Acondicionadores De Señal (4th Ed.).
- Perez Garcia, M. (2014). Instrumentación Electrónica. Paraninfo.
- Mijarez Castro, R. (2014). Electrónica. Grupo Editorial Patria.
- Barón, M. (2004). Enseñar Y Aprender Tecnología (1st Ed., P. 94).
- Wildi, T., Navarro Salas, R., & Ortega González, L. (2007). Maquinas Eléctricas Y Sistemas De Potencia. Pearson Educación.
- Gerardo Iborra B. (2006). Diseño De Un Sistema De Control Y Monitorización De Aplicaciones Industriales.
- Mechatronics, (2016). Tutorial sensor de corriente AC no invasivo SCT-013. https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-s.html

- Finder, (2018). Relé de potencia.
<https://gfinder.findernet.com/public/attachments/62/ES/S62ES.pdf>
- Chacón De Antonio, F. (2003). Electrotecnia. Universidad Pontificia Comillas.
- Aubanell, A., Benseny, A., & Delshams, A. (1993). Útiles Básicos De Cálculo Numérico. Labor.
- Bolton, B. (1996). Mediciones Y Pruebas Eléctricas Y Electrónicas. Alfaomega.
- CPE INEN. (2001). CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL (1st Ed.).
- CONELSA. (2020). Catálogo De Productos. Conelsa Cable Seguro. Retrieved 6 July 2020, From <https://www.conelsa.com.ec/>.
- Interruptor Automático En Miniatura - Acti 9 Ic60 | Schneider Electric Colombia. Se.Com. (2020). Retrieved 6 July 2020, From <https://www.se.com/co/es/product-range/7556-Acti-9-Ic60/?Parent-Subcategory-Id=1605&Filter=Business-4-Distribuci%C3%B3n-EI%C3%A9ctrica>.

6 ANEXOS

ANEXO A: Diseño simulación

ANEXO B: Prototipo 3D

ANEXO C: Manual de configuración

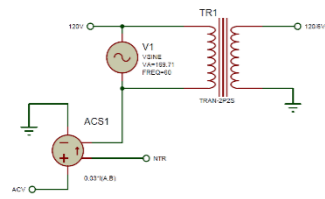
ANEXO D: Ficha técnica del dispositivo de protección

ANEXO E: Carta emergencia sanitaria

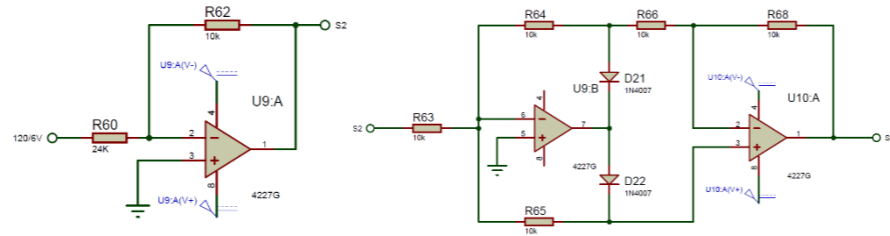
ANEXO A

DISEÑO SIMULACIÓN

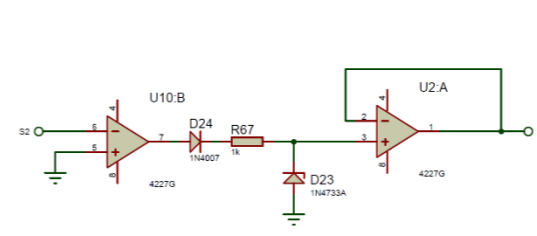
Transformador sensor de voltaje



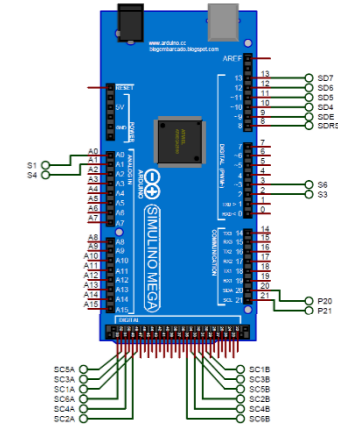
Circuito acondicionador de voltaje



Detector de cruce por 0 del voltaje

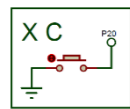


Microcontrolador Arduino

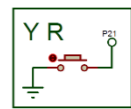


Sensor de corriente

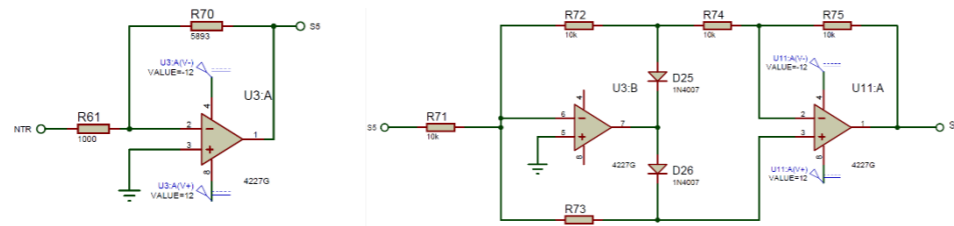
Pulsador de corrección



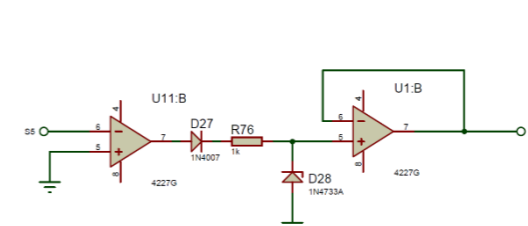
Pulsador de reinicio



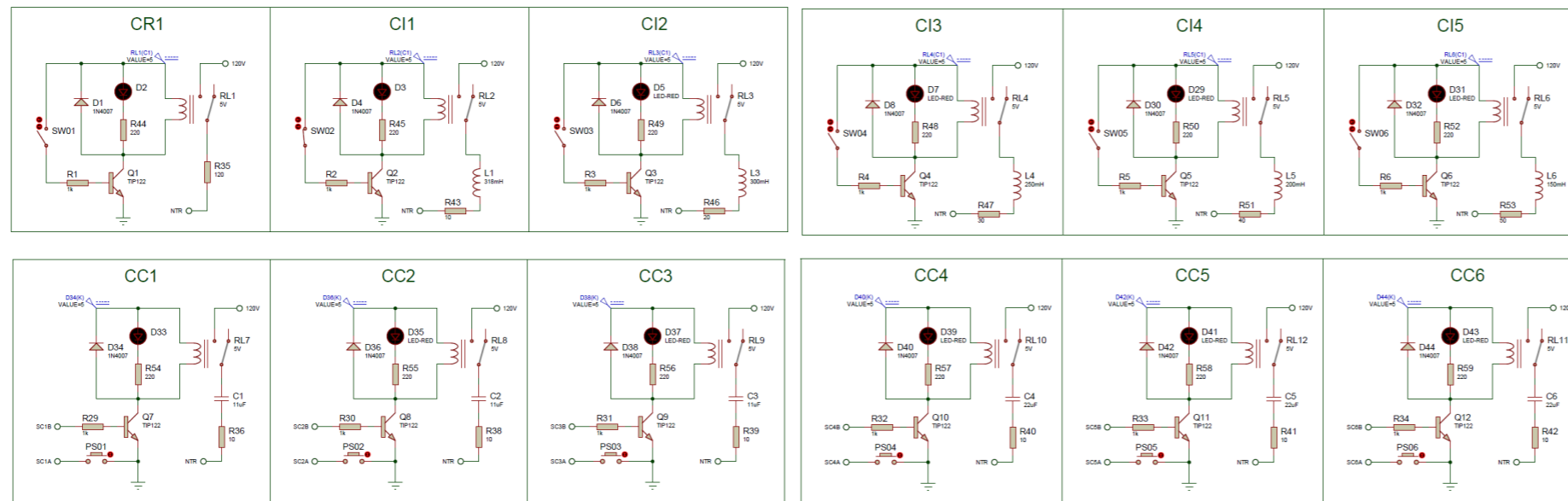
Circuito acondicionador de corriente



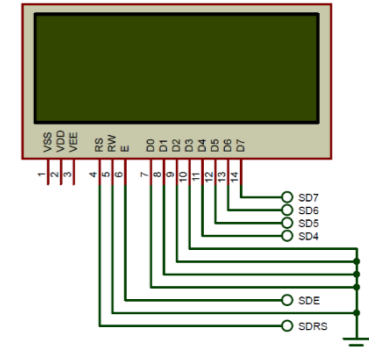
Detector de cruce por 0 de la corriente




Circuito para el control de cargas



Pantalla LCD

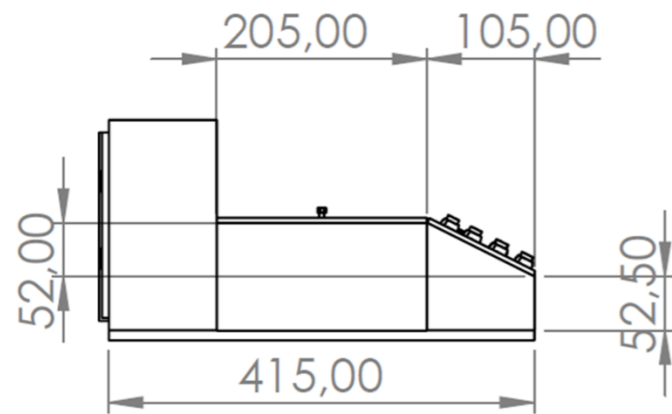


	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		L1
	Título: Diseño simulación		
	Responsables: CANIZARES ARDILA FRIXON ALEXANDER MERA OÑA LUIS FERNANDO	Fecha: 23/09/2020	

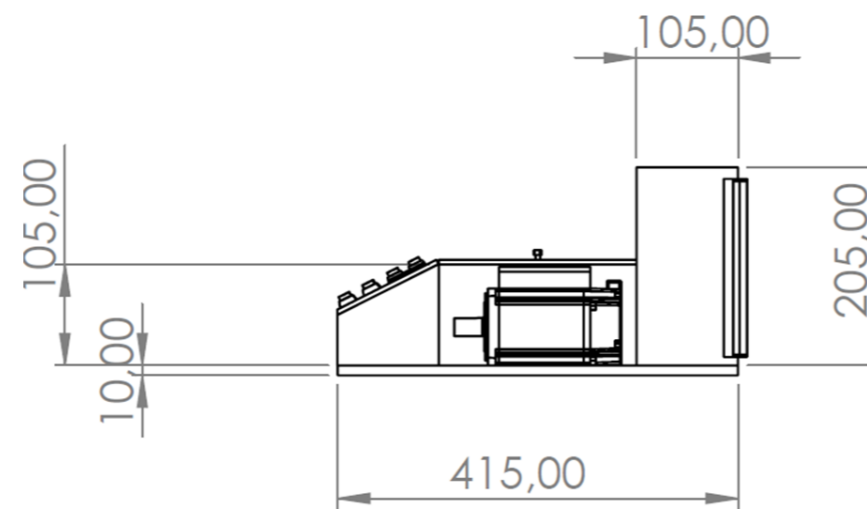
ANEXO B

PLANOS ESQUEMÁTICOS DEL PROTOTIPO

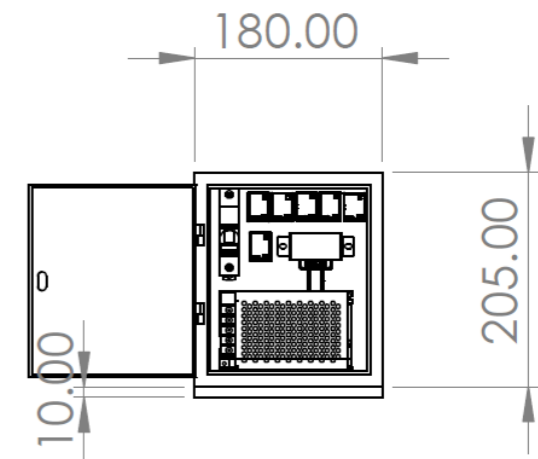
Vista lateral derecha



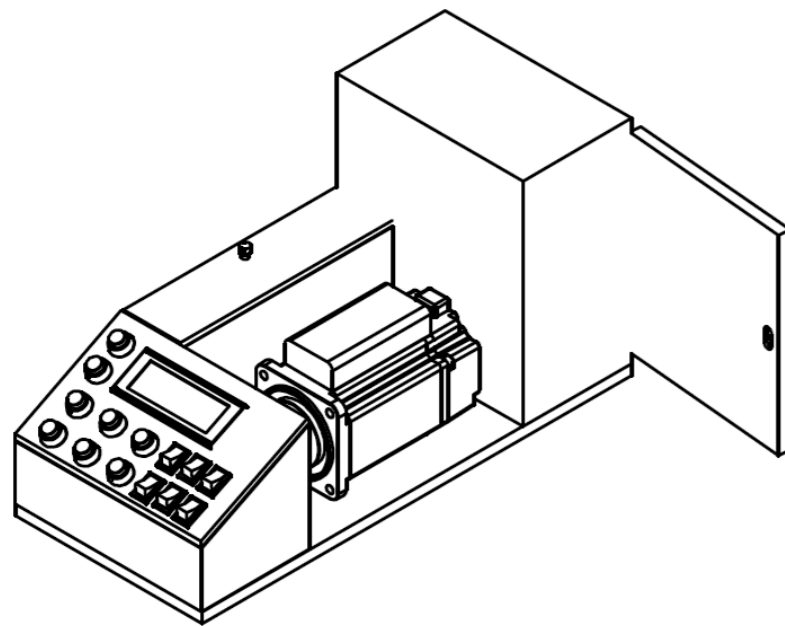
Vista lateral izquierda



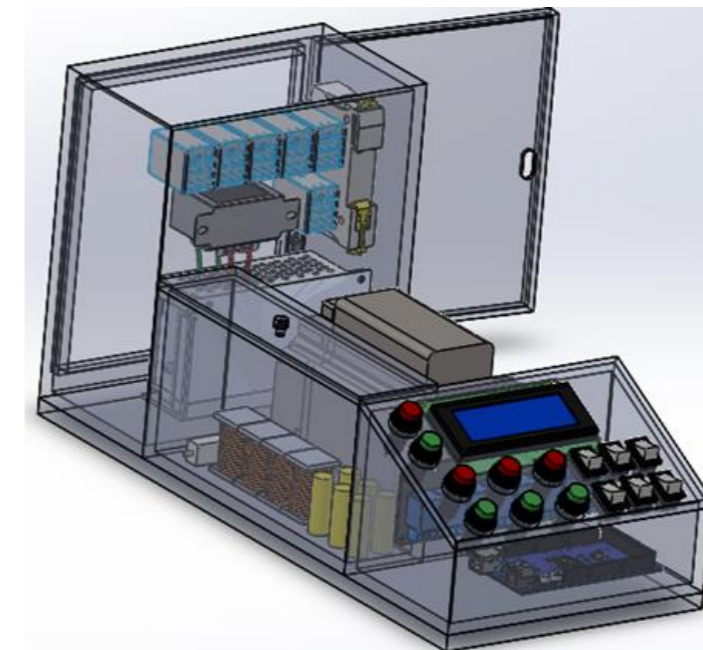
Vista Posterior



Vista Isométrica



Vista interna



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Título: PLANOS ESQUEMÁTICOS

Lamina N°:

Responsables:
CANIZARES ARDILA FRIXON ALEXANDER
MERA OÑA LUIS FERNANDO

Fecha:
23/09/2020

L2

ANEXO C

MANUAL DE CONFIGURACIÓN

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

MANUAL DE CONFIGURACIÓN PARA LA SIMULACIÓN

TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

2020

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	3
2.1 General	3
2.2 Específicos	3
3. PASOS A SEGUIR PARA ABRIR LOS ARCHIVOS.	4
4. PINES ARDUINO	7
5. PASOS PARA MANEJAR LA SIMULACIÓN.	9
6. ALGORITMO DE CONTROL	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A 3.1 Archivo comprimido	4
Figura B 3.2 Extracción de carpetas	4
Figura C 3.3 Carpetas.....	4
Figura D 3.4 Archivo simulación.....	5
Figura E 3.5 Comprobar que el archivo este cargado	5
Figura F 3. 6 Seleccionar el archivo .Hex	6
Figura G 3.7 Cargar el archivo	6
Figura A 4.1 DistribuciónDe Pines.....	7
Figura A 5.1 Circuito Para Cargas Inductivas y Resistivas.....	9
Figura B 5.2 Circuito Para Cargas Inductivas	9
Figura C 5.3 Leds Indicadores	10

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A 4.1 Pines De Arduino.....	8
--	----------

1. INTRODUCCIÓN

La siguiente simulación ha sido realizada con una interfaz amigable para poder utilizarla, ya que esta se ha creado en el software Proteus el cual es muy utilizado por los estudiantes para la creación de circuitos por lo cual será de fácil comprensión para los mismos.

Sin embargo, en este documento se detallarán uno a uno los pasos que se deben seguir para poder ejecutar la simulación de forma correcta.

2. OBJETIVOS

2.1 General

- Crear un documento para una configuración y comprensión rápida de la simulación presentada.

2.2 Específicos

- Establecer las partes más importantes a tener en cuenta en la simulación.
- Verificar que en la simulación no exista conexiones incorrectas por su mal manejo.
- Explicar de forma detallada el algoritmo de control utilizado.

3. PASOS A SEGUIR PARA ABRIR LOS ARCHIVOS.

1. Al estudiante o profesor se le entregara un archivo RAR con el nombre de Corrector_FatorDePotencia



Figura A 3.1 Archivo comprimido (Fuente propia)

2. Se debe dar click derecho en el archivo y se desplegara la siguiente ventana, en la cual se debe elegir la opción, extraer aquí.

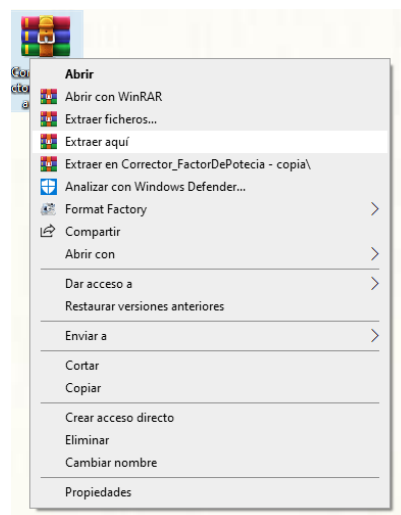


Figura B 3.2 Extracción de carpetas (Fuente Propia)

3. Se crearán 2 nuevas carpetas, la primera tendrá el nombre Código y la segunda se llamará simulación, en las cuales como su nombre lo indica en una de ellas se encontrará el código de Arduino, mientras que la otra estará la simulación completa creada en Proteus.

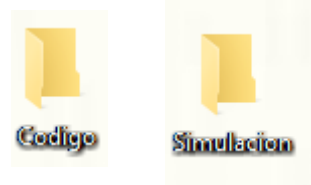


Figura C 3.3 Carpetas (Fuente Propia)

4. Primero se abrirá la carpeta de simulación, aquí se encontrará el archivo de Proteus el cual se deberá ejecutar dando doble click sobre él.

Figura D 3.4 Archivo simulación (Fuente Propia)

5. Antes de iniciar la ejecución se deberá comprobar que el archivo de Arduino esté cargado a la simulación, para esto damos doble click sobre el Arduino, al hacerlo se desplegará la ventana de la Figura E 3.5 y se deberá comprobar que en la sección donde dice PROGRAM FILE este la dirección del código de Arduino como se ve en la imagen en ese caso se podrá ejecutar la simulación sin problemas, caso contrario damos click sobre la carpeta indicada.

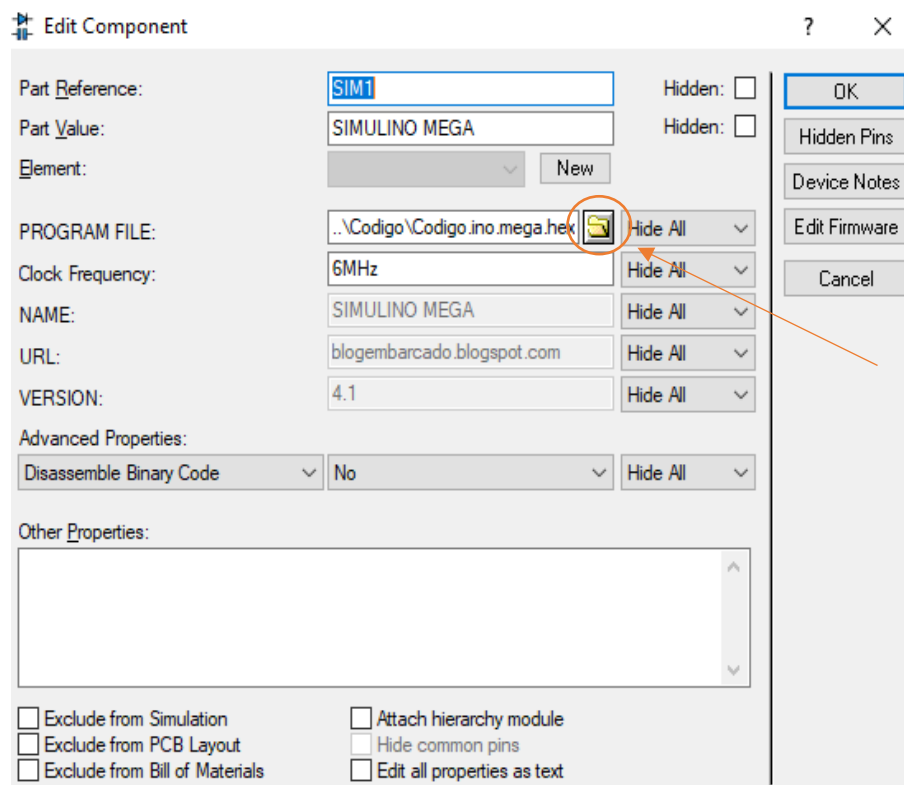


Figura E 3.5 Comprobar que el archivo este cargado (Fuente Propia)

6. Se desplegará una nueva ventana para buscar la carpeta llamada código, se abre la carpeta y se elige el archivo que contiene el código de Arduino.

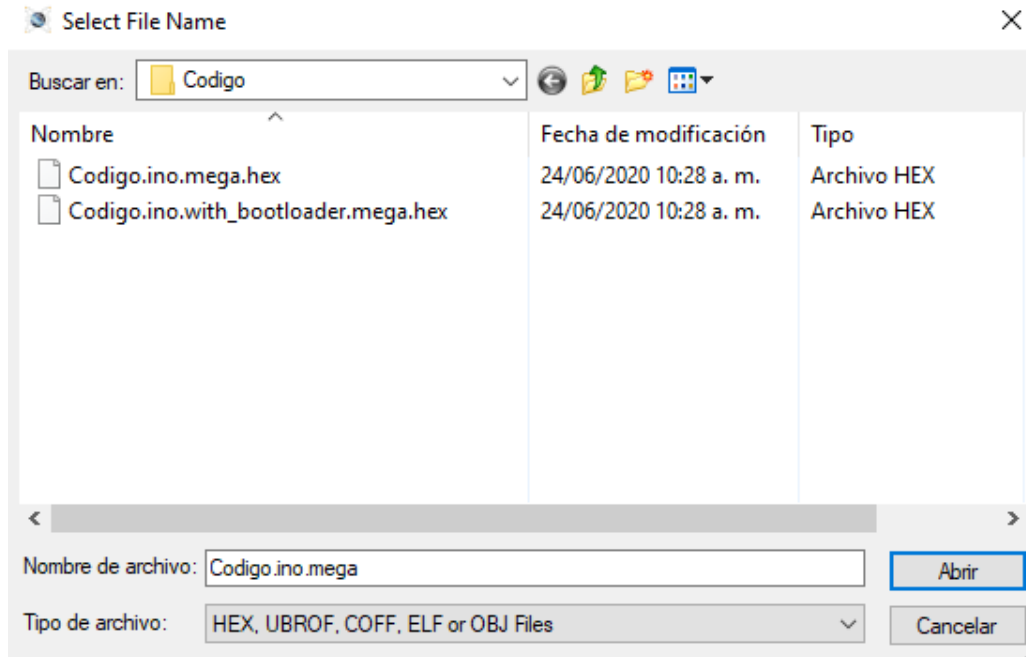


Figura F 3. 6 Seleccionar el archivo .Hex (Fuente Propia)

- Una vez elegido, se regresará a la ventana anterior y se deberá dar click en OK.

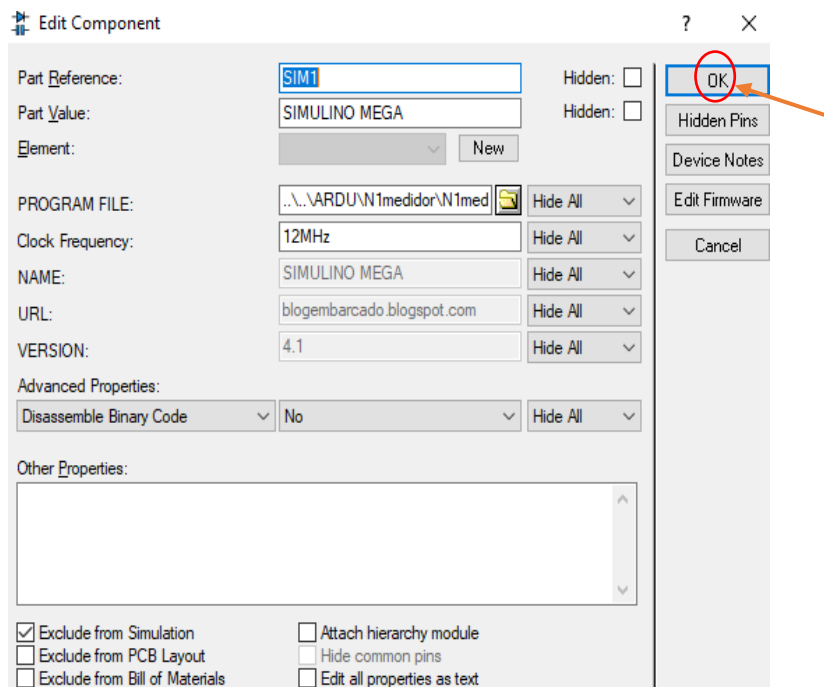


Figura G 3.7 Cargar el archivo (Fuente Propia)

8. Al hacer estos pasos se puede ejecutar la simulación de forma normal, sin embargo, primero se debe conocer que es lo que hace cada uno de los pines del Arduino utilizados y a que elemento están conectados.

4. PINES ARDUINO

La Figura A 4.1, sirve para poder identificar todos los pines utilizados, con la finalidad de que el encardo de manejar esta simulación comprenda en su totalidad que es lo que hace cada pin, en el caso de que por un error de manejo se elimine algunas de las líneas conductoras del circuito. Para complementar esta información se presenta la Tabla A 4.1 en la cual se muestra a que va conectado cada uno de los pines y que función realizan dentro de la simulación.

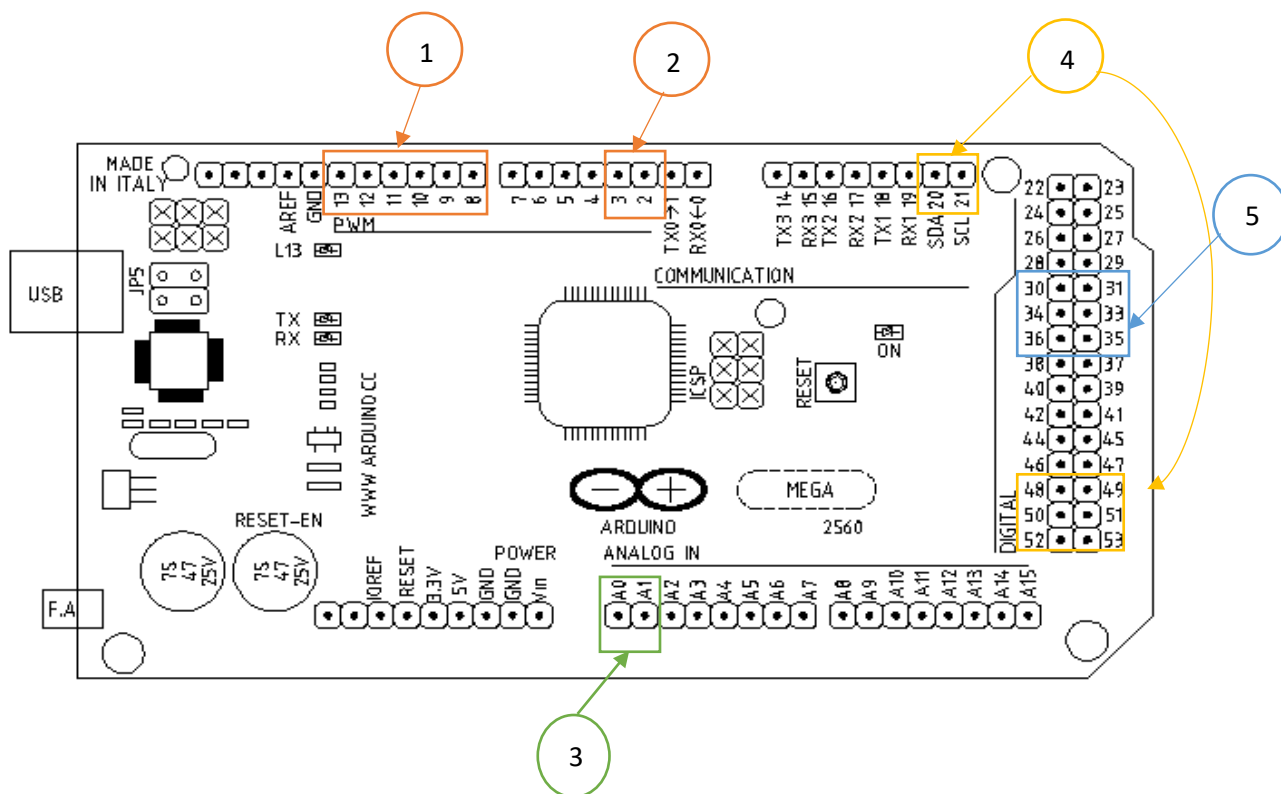


Figura A 4.1 Distribución De Pines (Fuente Propia)

Tabla A 4.1 Pines De Arduino

Pines Arduino			
	Pin	Se conecta con:	Descripción
1 LCD	8	D7	Los Pines D3, D2, D1, D0 y RW de la pantalla, van conectados a tierra.
	9	D6	
	10	D5	
	11	D4	
	12	E	
	13	RS	
2 Cruce por 0	2	S3	Voltaje Corriente
	3	S6	
3 Entrada analógica	A0	S1	Voltaje Corriente
	A1	S4	
4 Pulsadores	20	P20 o X	Reinicio corrección
	21	P21 o Y	
	48	SC1A	Mandan una señal para activar los relés.
	49	SC2A	
	50	SC3A	
	51	SC4A	
	52	SC5A	
	53	SC6A	
5 Relés	30	SC1B	Al activar los pulsadores estos mandan una señal a los pines correspondientes a cada relé los cuales se encargan de activar las cargas y sus respectivos leds.
	31	SC2B	
	32	SC3B	
	33	SC4B	
	34	SC5B	
	35	SC6B	

(Fuente propia)

5. PASOS PARA MANEJAR LA SIMULACIÓN.

- Para abrir el archivo requiere una versión 8 o superior de Proteus Profesional
- Abrir la carpeta llamada simulación y abrir el archivo que allí se encuentra.
- En la pestaña Schematic Capture encontrará todos los componentes que le permitirá controlar la simulación
- Para iniciar la simulación diríjase a la parte inferior izquierda de la ventana y encontrará el símbolo ►, presiónelo y espere unos segundos
- Antes de continuar tenga presente que la simulación no transcurre en tiempo real y dependerá del computador donde se ejecute
- Una vez iniciada la simulación, diríjase a la sección nombrada “Circuito de control de cargas” junto a la placa de Arduino, allí se encontrará las cargas inductivas y la carga resistiva las cuales se podrán activar mediante un switch como lo muestra la Figura 5.1, mientras que para las cargas capacitivas se tiene pulsadores los cuales enviarán una señal al microcontrolador para activar el rele que comanda a las cargas. (Figura 5.2).

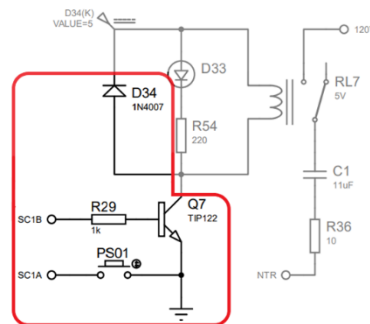


Figura A 5.1 Circuito Para Cargas Inductivas y Resistivas (Fuente Propia)

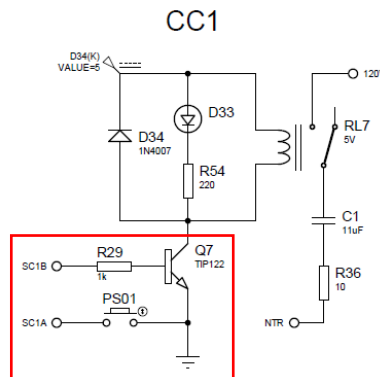


Figura B 5.2 Circuito Para Cargas Inductivas (Fuente Propia)

- En la pantalla del display podrá visualizar voltaje (V) corriente (I), ángulo de desfase (th), factor de potencia (fp), potencia aparente (S), potencia reactiva (Q) y potencia real (P)
- Puede verificar las cargas que están activas mediante los leds indicadores que corresponden a las mismas, Figura 5.3.

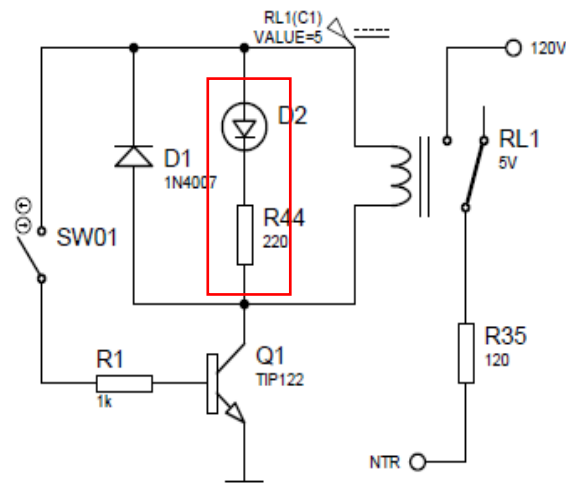


Figura C 5.3 Leds Indicadores (Fuente Propia)

- Una vez que selecciona una o varias cargas inductivas, puede presionar el pulsador de corrección XC para corregir el factor de potencia, al presionarlo inyecta cargas con potencia reactiva opuesta hasta que el factor de potencia alcance 0.97. Este pulsador solo se debe presionar una vez, cuando este se haya presionado se podrá seguir activando cargas inductivas y el programa ira corrigiendo el factor de potencia automáticamente hasta que se presioné YR.
- Al seleccionar la función “corregir” podrá observar que el consumo de potencia real disminuye porque el consumo de corriente disminuye
- Al seleccionar la función reinicio (Pulsador YR), apaga todas las cargas capacitivas, para la resistiva e inductivas debe desactivar el swicth que las comanda.
- Si se desea corregir el factor de potencia de forma manual no es necesario presionar el pulsador XC, basta con ir activando las cargas capacitivas con los pulsadores correspondientes, de esta forma se podrá visualizar de mejor forma como se regula el factor de potencia con cualquier capacitor que el operario desee.

6. ALGORITMO DE CONTROL

A continuación, se muestra el algoritmo de control utilizado para la simulación, en este se detalla que es lo que hace una a una cada línea de código, lo que ayudara a la comprensión más específica de cómo funciona internamente la simulación.

Para la comprensión del mismo es necesario tener un conocimiento básico de la programación en Arduino ya que en el código mostrado se usa varios comandos que podrían ser poco comprensibles si no se tiene conocimiento previo, es por ello que se ha tratado de comentar de forma clara cada línea de código.

CÓDIGO

```
// Inclusión de la libreria que controla la pantalla lcd
#include <LiquidCrystal.h>

// Especificación de los pines donde se conectará la pantalla
int RS=8, EN=9,d4=10,d5=11,d6=12,d7=13;
LiquidCrystal lcd(RS, EN, d4, d5, d6, d7);

// Creación de variables enteras
int ana0=0;
int ana1=0;
int ana0_max=0;
int ana1_max=0;
//long cuenta=0;
long cuenta0=0;
long cuenta1=0;
long cuenta2=0;
int aux=0,aux1=0;
int cn_sw_cap=0;
int cn_sw_ind=0;
int pa=20;
```

```
int pm=21;  
int ER[12];  
int ccp[10];  
int cnp=0;  
int ccp1=0;  
int cnp1=0;
```

```
// Creación de variables flotantes
```

```
float CNV=0;  
float V=0;  
float V1=0;  
float l=0;  
float l1=0;  
float th=0;  
float th1=0;  
float S=0;  
float S1=0;  
float P=0;  
float Q=0;  
float fp=0;  
float rad=0;  
float cn0=0;  
float cna=0;  
float cnb=0;  
float cnc=0;  
float cuenta=0;  
void setup() {
```

```
    // Se habilita la interrupcion en el pin definido por la variable "pa", cuando pase de el  
    estado alto a bajo se ejecutará la función "int_pa"
```

```

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pa),int_pa, RISING);

// Se habilita la interrupcion en el pin definido por la variable "pm", cuando pase de el
estado alto a bajo se ejecutará la función "int_pm"
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pm),int_pm, RISING);

// Se dispone los puertos a y c correspondientes a los pines 22-37 como salidas digitales
//DDRA=B11111111;
DDRC=B11111111;
DDRL=B11111100;      // Se habilita los pines 42-49 como entradas digitales
DDRB=B11110000;     // Se habilita los pines 50-53 como entradas digitales
PORTL=B11111111;    // Se activan las resistencias de pull-up en el puerto L (pines
42-49)

// Se activan las resistencias de pull-up en los pines 50-53
digitalWrite(50,1);
digitalWrite(51,1);
digitalWrite(52,1);
digitalWrite(53,1);

// Se habilita la interrupcion en el pin 2, cuando pase de el estado bajo al alto se
ejecutará la función "int_volt"
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2),int_volt, RISING);

// Se habilita la interrupcion en el pin 3, cuando pase de el estado bajo al alto se
ejecutará la función "int_cor"
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3),int_cor, RISING);

lcd.begin(20, 4);      // inicia la pantalla lcd
lcd.clear();          // limpia la pantalla lcd
lcd.setCursor(0,0);   // fija el cursor en la columna 0 y fila 0
lcd.print("V :");     // escribe V:

```



```

lcd.setCursor(0,1);           // fija el cursor en la columna 0 y fila 1
lcd.print("I :");           // escribe I:
lcd.setCursor(0,2);         // fija el cursor en la columna 0 y fila 2
lcd.print("th:");           // escribe th:
lcd.setCursor(9,0);         // fija el cursor en la columna 9 y fila 0
lcd.print("fp:");           // escribe fp:
lcd.setCursor(9,1);         // fija el cursor en la columna 9 y fila 1
lcd.print("S :");           // escribe S:
lcd.setCursor(9,2);         // fija el cursor en la columna 9 y fila 2
lcd.print("Q :");           // escribe Q:
lcd.setCursor(9,3);         // fija el cursor en la columna 9 y fila 3
lcd.print("P :");           // escribe P:

TCCR1A=0;                   //define al timer 1 como contador en modo de
operación normal
TCCR1B=B00000010;         //define un preescalador de 8

TCCR2A=0b00000000;        //define al timer 2 como contador en modo de
operación normal
TCCR2B=0b00000111;        //define un preescalador de 1024
TIMSK2=0b00000010;        //habilita la interrupcion del timer 2

// iniciara la interrupcion cuando la cuenta del timer 2 (TCNT2) llegue a 255 Y
// el tiempo equivalente es de un segundo
OCR2A=255;
TCNT2=0;                   //Se inicia la cuenta en cero

TCCR3A=0b00000000;        //define al timer 3 como contador en modo de operación
normal
TCCR3B=0b00000111;        //define un preescalador de 1024

```

```

// iniciará la interrupcion cuando la cuenta del timer 3 (TCNT3) llegue a 15625 y
// el tiempo equivalente es de un segundo
OCR3A=15625;
TCNT3=0;          //Se inicia la cuenta en cero
}

void int_volt() {
    TCNT1=0;      //reinicia el contador tcnt1
}

void int_cor() {
    cuenta=TCNT1; //copia el valor de tcnt1 en la variable cuenta
}

void int_pa() {
    TIMSK3=0b00000010; //define un tiempo de espera de 1s con el timer 3
    TCNT3=14063;
    cna=1;
}

void int_pm() {
    TIMSK3=0b00000000; //suprime el preescalador del timer 3
    PORTC=B00000000;   //desactiva los reles conectados a los pines 30-35
    cn_sw_cap=0;
    // inicia la pantalla lcd
    lcd.begin(20, 4);
    // limpia la pantalla lcd
    lcd.clear();
    // fija el cursor en la columna 0 y fila 0
    lcd.setCursor(0,0);
    // escribe V:
    lcd.print("V :");
    // fija el cursor en la columna 0 y fila 1

```

```
lcd.setCursor(0,1);
// escribe l:
lcd.print("l :");
// fija el cursor en la columna 0 y fila 2
lcd.setCursor(0,2);
// escribe th:
lcd.print("th:");
// fija el cursor en la columna 9 y fila 0
lcd.setCursor(9,0);
// escribe fp:
lcd.print("fp:");
// fija el cursor en la columna 9 y fila 1
lcd.setCursor(9,1);
// escribe S:
lcd.print("S :");
// fija el cursor en la columna 9 y fila 2
lcd.setCursor(9,2);
// escribe Q:
lcd.print("Q :");
// fija el cursor en la columna 9 y fila 3
lcd.setCursor(9,3);
// escribe P:
lcd.print("P :");
cna=0;
}
```

```
// Interrupción del timer 2
```

```
ISR(TIMER2_COMPA_vect){
    if(aux==20){
```

```

    aux=0;    //Asigna cero a la variable "aux"
    calcular(); //Ejecuta la función "calcular"
    presentar(); //Ejecuta la función "presentar"
    ana0_max=0;
    ana1_max=0;
}
else {
    aux=aux+1; //Aumenta uno a la variable "aux"
}
TCNT2=0;    //reinicia la cuenta del timer 2
}

```

// Interrupción del timer 3

```

ISR(TIMER3_COMPA_vect){
    // Si el factor de potencia es menor a 0.97 y la potencia
    // reactiva es negativa aumenta uno la variable "cn_sw_cap"
    // y se activarán las cargas capacitivas
    if(cn_sw_cap<8){
        if(fp<0.92&&Q>0){cn_sw_cap++;
        switch (cn_sw_cap){
        case 1: digitalWrite(30,1); //Se activa el relé del pin 22
        break;
        case 2: digitalWrite(31,1); //Se activa el relé del pin 23
        break;
        case 3: digitalWrite(32,1); //Se activa el relé del pin 24
        break;
        case 4: digitalWrite(32,0); //Se activa el relé del pin 25
                digitalWrite(33,1); //Se activa el relé del pin 25
        break;

```

```

case 5: digitalWrite(32,1); //Se activa el relé del pin 26
break;
case 6: digitalWrite(32,0); //Se activa el relé del pin 25
        digitalWrite(34,1); //Se activa el relé del pin 27
break;
case 7: digitalWrite(32,1); //Se activa el relé del pin 26
break;
case 8: digitalWrite(32,0); //Se activa el relé del pin 25
        digitalWrite(35,1); //Se activa el relé del pin 27
break;
case 9: digitalWrite(32,1); //Se activa el relé del pin 26
break;
}
}
}

// Si el factor de potencia es menor a 0.97 y la potencia
// reactiva es positiva disminuye uno la variable "cn_sw_cap"
// y se desactivarán las cargas capacitivas
if(cn_sw_cap>0){
if(fp<0.92&&Q<0){
switch (cn_sw_cap){
case 1: digitalWrite(30,0); //Se activa el relé del pin 30
break;
case 2: digitalWrite(31,0); //Se activa el relé del pin 31
break;
case 3: digitalWrite(32,0); //Se activa el relé del pin 32
break;
case 4: digitalWrite(32,1); //Se activa el relé del pin 25
        digitalWrite(33,0); //Se activa el relé del pin 25
break;

```

```

case 5: digitalWrite(32,0); //Se activa el relé del pin 26
break;
case 6: digitalWrite(32,1); //Se activa el relé del pin 25
      digitalWrite(34,0); //Se activa el relé del pin 27
break;
case 7: digitalWrite(32,0); //Se activa el relé del pin 26
break;
case 8: digitalWrite(32,1); //Se activa el relé del pin 25
      digitalWrite(35,0); //Se activa el relé del pin 27
break;
case 9: digitalWrite(32,0); //Se activa el relé del pin 26
break;
}
cn_sw_cap--;}
TCNT3=0; //Reinicia la cuenta del timer 3
}else{
  digitalWrite(30,0);
  digitalWrite(31,0);
  digitalWrite(32,0);
  digitalWrite(33,0);
  digitalWrite(34,0);
  digitalWrite(35,0);
}
}

void calcular(){

  V=ana0_max*0.1650648; //Transforma el valor analógico de voltaje
  V=round(V);
  if(ana1_max<=5){ana1_max=0;}

```

```

I=ana1_max*0.005859375; //Transforma el valor analógico de corriente
I=round(I*100);
I=I/100;
if(I<0.01){
    cuenta=0;
    I=0;
} //Si la corriente es despreciable no medirá el desfase
//if(cuenta<90){cuenta=0;}
th=cuenta*0.0108;//2368; //El ángulo se obtiene al multiplicar la cuenta de la interrupción
int_cor
if(th>90){th=th-361;}
S=V*I; //Potencia aparente (S) es igual al producto de V por I
if(I==0){}
// fp es igual al coseno del ángulo de desfase entre V e I, y th se multiplica porque la
// formula solo admite radianes
rad=th*0.0174532925;
fp=cos(rad);
// P es igual a la potencia aparente multiplicada por el coseno del ángulo de desfase
// entre V e I, y th se multiplica porque la fórmula solo admite radianes
P=S*cos(rad);
// Q es igual a la potencia aparente multiplicada por el seno del ángulo de desfase
// entre V e I, y th se multiplica porque la fórmula solo admite radianes
Q=S*sin(rad);
}

void presentar(){

    lcd.setCursor(3,0); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 3 y fila 0
    lcd.print(" "); //Reemplaza el valor anterior con celdas vacias
    lcd.setCursor(3,0); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 3 y fila 0

```

```
lcd.print(V,0); //imprime el valor de voltaje (V)
```

```
lcd.setCursor(3,1); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 3 y fila 1
```

```
lcd.print(" "); //Reemplaza el valor anterior con celdas vacias
```

```
lcd.setCursor(3,1); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 3 y fila 1
```

```
lcd.print(I,2); //imprime el valor de corriente (I) con un decimal
```

```
lcd.setCursor(3,2); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 3 y fila 2
```

```
lcd.print(" "); //Reemplaza el valor anterior con celdas vacias
```

```
lcd.setCursor(3,2); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 3 y fila 2
```

```
lcd.print(th,1); //imprime el valor del ángulo (th)
```

```
lcd.setCursor(12,0); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 12 y fila 0
```

```
lcd.print(" "); //Reemplaza el valor anterior con celdas vacias
```

```
lcd.setCursor(12,0); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 12 y fila 0
```

```
lcd.print(fp,2); //imprime el valor de factor de potencia (fp)
```

```
lcd.setCursor(12,1); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 12 y fila 1
```

```
lcd.print(" "); //Reemplaza el valor anterior con celdas vacias
```

```
lcd.setCursor(12,1); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 12 y fila 1
```

```
lcd.print(S,1); //imprime el valor de potencia aparente (S)
```

```
lcd.setCursor(12,2); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 12 y fila 2
```

```
lcd.print(" "); //Reemplaza el valor anterior con celdas vacias
```

```
lcd.setCursor(12,2); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 12 y fila 2
```

```
lcd.print(Q,1); //imprime el valor de potencia reactiva (Q)
```

```
lcd.setCursor(12,3); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 12 y fila 3
```

```
lcd.print(" "); //Reemplaza el valor anterior con celdas vacias
```

```
lcd.setCursor(12,3); //Posicionar el cursor de la pantalla lcd en la columna 12 y fila 3
```



```
lcd.print(P,1);    //imprime el valor del potencia real (P)
}

void loop() {
  // Compara el valor de los pines 42-53, si es diferente de cero
  // invierte el estado del los pines 22-7 y 30-35 respectivamente
  if(cna==0){
    if(digitalRead(48)==0){ ER[7]=1-ER[7];
      digitalWrite(30,ER[7]);
      while(digitalRead(48)==0){}
    }
    if(digitalRead(49)==0){ ER[8]=1-ER[8];
      digitalWrite(31,ER[8]);
      while(digitalRead(49)==0){}
    }
    if(digitalRead(50)==0){ ER[9]=1-ER[9];
      digitalWrite(32,ER[9]);
      while(digitalRead(50)==0){}
    }
    if(digitalRead(51)==0){ ER[10]=1-ER[10];
      digitalWrite(33,ER[10]);
      while(digitalRead(51)==0){}
    }
    if(digitalRead(52)==0){ ER[11]=1-ER[11];
      digitalWrite(34,ER[11]);
      while(digitalRead(52)==0){}
    }
    if(digitalRead(53)==0){ ER[12]=1-ER[12];
      digitalWrite(35,ER[12]);
      while(digitalRead(53)==0){}
```

```
        }  
    }  
    ana0=analogRead(0);    //Se asigna la medida analógica del voltaje a una variable  
    "ana0"  
    ana1=analogRead(1);    //Se asigna la medida analógica de la corriente a una variable  
    "ana1"  
  
    //Se guarda el valor más alto que alcanza voltaje y corriente en las variables "ana0_max"  
    y "ana1_max"  
  
    if (ana0_max<ana0)  
    {  
        ana0_max=ana0;  
    }  
    if (ana1_max<ana1)  
    {  
        ana1_max=ana1;  
    }  
}
```

ANEXO D

FICHA TÉCNICA DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN

Ficha técnica del producto

iC60N –miniature circuit breaker –1P –6A –B curve



Aplicación del dispositivo	Distribución
Gama	Acti 9
Nombre del producto	Acti 9 iC60
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre corto del dispositivo	IC60N
Número de polos	1P
Número de polos protegidos	1
Corriente nominal (In)	6 A
Tipo de red	CA DC
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	B
Poder de corte	6000 A Icn en 230 V CA 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60898-1 10 kA Icu en 60...72 V DC acorde a EN/IEC 60947-2 15 kA Icu en 12...60 V DC acorde a EN/IEC 60947-2 10 kA Icu en 220...240 V CA 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60947-2 36 kA Icu en 12...60 V CA 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60947-2 20 kA Icu en 100...133 V CA 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60947-2
Categoría de utilización	Categoría A acorde a EN 60947-2 Categoría A acorde a IEC 60947-2
Apto para seccionamiento	Sí acorde a EN 60898-1 Sí acorde a EN 60947-2 Sí acorde a IEC 60898-1 Sí acorde a IEC 60947-2
Normas	EN 60898-1 EN 60947-2 IEC 60898-1 IEC 60947-2

Complementario

Límite de enlace magnético	4 x In +/-20 %
[Ics] poder de corte en servicio	27 kA 75 % acorde a EN 60947-2 -12...60 V CA 50/60 Hz 7,5 kA 75 % acorde a EN 60947-2 -220...240 V CA 50/60 Hz 27 kA 75 % acorde a IEC 60947-2 -12...60 V CA 50/60 Hz 7,5 kA 75 % acorde a IEC 60947-2 -220...240 V CA 50/60 Hz 15 kA 75 % acorde a IEC 60947-2 -100...133 V CA 50/60 Hz 15 kA 75 % acorde a EN 60947-2 -100...133 V CA 50/60 Hz 6000 A 100 % acorde a EN 60898-1 -230 V CA 50/60 Hz 6000 A 100 % acorde a IEC 60898-1 -230 V CA 50/60 Hz 10 kA 100 % acorde a EN 60947-2 -72 V DC 10 kA 100 % acorde a IEC 60947-2 -72 V DC 15 kA 100 % acorde a EN 60947-2 -12...60 V DC 15 kA 100 % acorde a IEC 60947-2 -12...60 V DC
Clase de limitación	3 acorde a EN 60898-1 3 acorde a IEC 60898-1
[Ui] tensión asignada de aislamiento	500 V CA 50/60 Hz acorde a EN 60947-2 500 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60947-2
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	6 kV acorde a EN 60947-2 6 kV acorde a IEC 60947-2
Indicador de posición del contacto	Sí
Tipo de control	Maneta
Señalizaciones en local	Indicador de disparo
Tipo de montaje	Fijo
Tipo de montaje	Carril DIN
Compatibilidad de bloque de distribución de embarrado tipo peine	Arriba o abajo, estado 1 SÍ
Pasos de 9 mm	2
Altura	85 mm
Anchura	18 mm
Profundidad	78,5 mm
Peso del producto	0,215 kg
Color	Blanco
Endurancia mecánica	20000 cycles
Durabilidad eléctrica	10000 cycles
Conexiones -terminales	Terminal simple -tipo de cable: arriba o abajo) 1...25 mm ² rígido Terminal simple -tipo de cable: arriba o abajo) 1...16 mm ² Flexible
Longitud de cable pelado para conectar bornas	14 mm para arriba o abajo conexión
Par de apriete	2 N.m arriba o abajo
Protección contra fugas a tierra	Sin
Entorno	
Grado de protección IP	IP20 acorde a IEC 60529 IP20 acorde a EN 60529
Grado de contaminación	3 acorde a EN 60947-2 3 acorde a IEC 60947-2
Categoría de sobretensión	IV
Tropicalización	2 acorde a IEC 60068-1
Humedad relativa	95 % en 55 °C
Altitud máxima de funcionamiento	0...2000 m

ANEXO E

CARTA EMERGENCIA SANITARIA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

Trabajos de Titulación ESFOT 2020-A _Emergencia Sanitaria

Resolución No. 041.15-04-2020 Consejo Directivo ESFOT

Quito, 27 de mayo del 2020

MSc.

Mónica Vinuesa

DIRECTORA (e) ESFOT

De mi consideración:

Yo, Cañizares Ardila Frixon Alexander, con cédula de ciudadanía No. 1726376120, estudiante de la carrera de Tecnología en: ASA (), EM (), ET ()

Yo, Mera Oña Luis Fernando, con cédula de ciudadanía No. 1754683629, estudiante de la carrera de Tecnología en: ASA (), EM (), ET ()

Nos acogemos a la resolución No. 041.15-04-2020 de Consejo Directivo ESFOT en la cual se establece que: *Por las circunstancias por las cuales el país está atravesando, los temas de los Trabajos de Titulación que hayan sido aprobados con IMPLEMENTACIÓN y por las circunstancias de movilidad no lo pueden hacer, la entrega de anillados puede ser aceptada a nivel de SIMULACIÓN, DISEÑO o ESTUDIO; siempre y cuando los estudiantes se gradúen en el período académico 2020-A.*

1. INFORMACIÓN DEL PLAN APROBADO

1.1 TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA REGULACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

1.2 OBJETIVO GENERAL:

Construir un módulo didáctico para la regulación del factor de potencia.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Realizar un estudio de requerimientos.

Implementar el sistema de medición.

Implementar el sistema de control y corrección.

Implementar el sistema de protecciones.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

Realizar las pruebas y análisis de respaldo.

Elaborar un manual de usuario.

2. INFORMACIÓN DEL PLAN MODIFICADO

2.1 TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

DISEÑO DE UNA SIMULACIÓN PARA LA REGULACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

2.2 OBJETIVO GENERAL:

Diseñar una simulación para la regulación del factor de potencia.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Realizar un estudio de requerimientos.

Diseñar el sistema de medición.

Diseñar el sistema de control y corrección.

Dimensionamiento y selección del sistema de protección.

Diseño de un prototipo.

Realizar las pruebas y análisis en el programa.

Elaborar un manual de configuración y manejo de la simulación.

2.4 METODOLOGÍA:

Se creará una simulación que medirá el factor de potencia de un circuito mediante la utilización de varios elementos proporcionados por el software Proteus, dicha regulación se realizará con la ayuda de cargas inductivas y capacitivas, además de otros factores.

Objetivo 1. Realizar un estudio de requerimientos.

- Se establecerá las características de funcionamiento de la simulación y las etapas de funcionamiento que esta necesitará.
- Se identificará los elementos y componentes necesarios para su funcionamiento.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

Objetivo 2. Diseñar el sistema de medición.

- Se determinarán los voltajes para alimentar la carga y el amperaje de las mismas.
- Se dimensionarán los componentes que se utilizarán en el circuito.

Objetivo 3. Diseñar el sistema de control y corrección.

- Se escogerá el método más conveniente para la regulación del factor de potencia.
- Se creará un algoritmo para el control manual y automático.
- Se diseñará el circuito de activación para los actuadores.

Objetivo 4. Dimensionamiento y selección del sistema de protección.

- Se dimensionará la protección con respecto a los valores arrojados en la simulación.

Objetivo 5. Diseño de un Prototipo.

- Se creará un prototipo 3D el cual tendrá las dimensiones adecuadas para los elementos que se utilicen en la simulación.

Objetivo 6. Realizar las pruebas y análisis en el programa.

- Se verificará que los elementos estén correctamente conectados.
- Se ejecutarán todas las etapas de la simulación y así ver su correcto funcionamiento.
- Se simular condiciones no validas en busca de errores en el programa o circuito.
- Se realizarán los ajustes faltantes.

Objetivo 7. Elaborar un manual de configuración y manejo de la simulación.

- Se detallarán las funciones de la simulación.
- Se mostrará la forma de ejecutar los archivos.
- Se detallará mediante instrucciones la forma correcta de ejecutar la simulación.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

NOMBRE DEL DIRECTOR: Pablo Andrés Proaño Chamorro

CODIRECTOR: Carlos Orlando Romo Herrera

Atentamente,

Cañizares Ardila Frixon Alexander
CC: 1726376120
e-mail: frixon.canizares@epn.edu.ec
Teléfono: 0969876325

Mera Oña Luis Fernando
CC: 1754683629
e-mail: luis.mera02@epn.edu.ec
Teléfono: 09859937861

NOTA:

El presente documento debe adjuntarse al Plan de Titulación aprobado, para que sea avalado por la Comisión de revisión de planes de titulación de la carrera, y posteriormente sea ingresado el nuevo Título del plan de titulación al SAEW. Este documento se anexará al plan de titulación, el momento de entrega de anillados.