



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Implementación de un módulo de electrónica de potencia para un circuito rectificador  
monofásico controlado de onda completa.**

Remache Bazante, Franklin Jesús

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología en Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electrónica Mención  
Instrumentación y Aviónica

Ing. Calvopiña Osorio, Jenny Paola

Latacunga

3 de marzo del 2021



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

**Certificación**

Certifico que la monografía, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA PARA UN CIRCUITO RECTIFICADOR MONOFÁSICO CONTROLADO DE ONDA COMPLETA.”** fue realizado por el señor **Remache Bazante Franklin Jesús**, la cual ha sido revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

09 de marzo de 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:  
**JENNY PAOLA  
CALVOPINA  
OSORIO**

.....  
Ing. Calvopiña Osorio, Jenny Paola

C.C.: 0503390239

## Análisis Urkund



### Document Information

---

<b>Analyzed document</b>	REMACHE TESIS RECTIFICADOR MONOFASICO CONTROLADO DE ONDA COMPLETA.docx (D78260223)
<b>Submitted</b>	8/28/2020 6:36:00 AM
<b>Submitted by</b>	
<b>Submitter email</b>	fjremache1@espe.edu.ec
<b>Similarity</b>	0%
<b>Analysis address</b>	cpchuchico.espe@analysis.arkund.com

### Sources included in the report

---



Ing. Calvopina Osorio, Jenny Paola  
C.C.: 0503390239



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y**  
**AVIÓNICA**

**Autoría de responsabilidad**

Yo, **Remache Bazante, Franklin Jesús**, declaro que el contenido, ideas, y criterios de la monografía : **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA PARA UN CIRCUITO RECTIFICADOR MONOFÁSICO CONTROLADO DE ONDA COMPLETA.”** es de mi autoría y responsabilidad cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Latacunga, 3 de Marzo del 2021**

.....  
Remache Bazante, Franklin Jesús  
C.C.:172435167



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

**Autorización**

Yo, **Remache Bazante, Franklin Jesús** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA PARA UN CIRCUITO RECTIFICADOR MONOFÁSICO CONTROLADO DE ONDA COMPLETA.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 3 de Marzo del 2021**

.....  
Remache Bazante, Franklin Jesús  
C.C.:172435167

### **Dedicatoria**

A mi hija ya que ella es la promotora de mis logros y luchas constantes cada día.

A mis padres que fueron los que confiaron en mis habilidades y capacidades y me  
tendieron la gran oportunidad de poder estudiar.

A mi esposa uno de los pilares fundamentales hoy en día en mi vida

A mi familia que no han desmayado por verme salir adelante pese a todo.

A la Sección Gestión de Tecnologías UGT de la Universidad de las Fuerzas Armadas-  
ESPE quien brindo todos los conocimientos adquiridos

Franklin Remache B.

## **Agradecimiento**

A mis Padres.

A mi esposa.

A la Sección Gestión de Tecnologías UGT por los años de conocimiento impartido.

Franklin Remache B.

Índice de contenido	
Carátula.....	1
Certificación.....	2
Análisis Urkund.....	3
Autoría de responsabilidad.....	4
Autorización.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido.....	8
Índice de tablas.....	14
Resumen.....	15
Abstract.....	16
Tema.....	17
Antecedentes.....	17
Planteamiento del problema.....	18
Justificación.....	18
Objetivos.....	19
<i>Objetivo general</i> .....	19
<i>Objetivos específicos</i> .....	19
Alcance:.....	19
Capítulo II.....	20
Marco teórico.....	20

<b>Definiciones.....</b>	<b>20</b>
<i>Rectificador .....</i>	20
<i>Factor de potencia .....</i>	20
<i>PWM .....</i>	20
<i>Detector de cruces por cero.....</i>	20
<b>Electrónica de Potencia.....</b>	<b>21</b>
<i>Dispositivos electrónicos de potencia.....</i>	21
<b>SCR (Rectificador Controlado de Silicio).....</b>	<b>21</b>
<b>Sistemas de Potencia .....</b>	<b>22</b>
<i>Circuito de mando.....</i>	22
<b>Convertidores de potencia electrónicos .....</b>	<b>23</b>
<i>Generalidades.....</i>	23
<i>Convertor AC/AC.....</i>	23
<i>Convertor DC/DC.....</i>	24
<i>Convertor AC/DC.....</i>	25
<i>Clasificación convertidores AC/DC.....</i>	25
<b>Rectificador monofásico no controlado de media</b>	
onda.....	26
<b>Rectificador no controlado de onda completa. ....</b>	<b>27</b>
<b>Rectificador controlado monofásico de media onda. ...</b>	<b>28</b>
<b>Rectificador semicontrolado de onda completa.....</b>	<b>29</b>
<b>Rectificador monofásico controlado de onda</b>	
completa.....	30
<b>Aplicaciones del Rectificador monofásico controlado</b>	
de onda completa.....	30
<b>Cargas.....</b>	<b>31</b>
<i>Cargas capacitivas.....</i>	32
<b>Carga resistiva.....</b>	<b>32</b>

	10
<b>Cargas inductivas .....</b>	<b>32</b>
<b>Transformadores.....</b>	<b>33</b>
<b>Motores DC .....</b>	<b>33</b>
<b>Capítulo III.....</b>	<b>34</b>
<b>Desarrollo del tema .....</b>	<b>34</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>34</b>
<b>Simulación del circuito.....</b>	<b>34</b>
<i>Diagrama de bloques del proyecto.....</i>	<i>34</i>
<i>Simulación circuito de detección de cruces por cero .....</i>	<i>35</i>
<b>Cálculos del circuito de detección de cruces por</b>	
<b>cero.....</b>	<b>36</b>
<b>Formas de onda dentro de Proteus obtenidas a partir</b>	
<b>del circuito Figura 17 .....</b>	<b>37</b>
<b>Simulación en Proteus del circuito de control del rectificador</b>	
<b>monofásico controlado de onda completa.....</b>	<b>38</b>
<b>Formas de onda dentro de Proteus obtenidas a partir del circuito de</b>	
<b>la Figura 19.....</b>	<b>39</b>
<b>Simulación en Proteus del circuito de control del rectificador</b>	
<b>monofásico controlado de onda completa.....</b>	<b>39</b>
<b>Formas de onda dentro de Proteus para circuito</b>	
<b>rectificador monofásico controlado de onda completa.....</b>	<b>41</b>
<b>Implementación del circuito por etapas.....</b>	<b>42</b>
<i>Primera etapa.....</i>	<i>42</i>
<i>Segunda etapa .....</i>	<i>42</i>
<i>Tercera etapa.....</i>	<i>43</i>
<b>Dimensionamiento de cargas. ....</b>	<b>44</b>
<b>Diseño de PCB circuito impreso.....</b>	<b>45</b>
<i>Creación del diseño.....</i>	<i>45</i>
<i>Impresión del diseño.....</i>	<i>48</i>
<i>Perforado suelda del PCB.....</i>	<i>50</i>

	11
<i>Pruebas del PCB</i> .....	51
<b>Implementación del módulo</b> .....	<b>51</b>
<i>Cara frontal</i> .....	51
<i>Vectorizado del módulo.</i> .....	52
<i>Corte laser</i> .....	53
<b>Mediciones y pruebas</b> .....	<b>54</b>
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>56</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	<b>56</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>56</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>57</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>58</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>59</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Estructura de un sistema de Potencia .....	23
<b>Figura 2</b> Conversor AC/AC.....	24
<b>Figura 3</b> Conversor DC/DC .....	24
<b>Figura 4</b> Diagrama de Bloques conversor AC/DC .....	25
<b>Figura 5</b> Clasificación esquemática de convertidores.....	26
<b>Figura 6</b> Rectificador monofásico no controlado de media onda .....	26
<b>Figura 7</b> Señal rectificador monofásico no controlado de media onda.....	27
<b>Figura 8</b> Puente de diodos .....	27
<b>Figura 9</b> Recorrido de la corriente durante los semiciclos .....	28
<b>Figura 10</b> Rectificador monofásico controlado de media onda .....	29
<b>Figura 11</b> Rectificador monofásico controlado de media onda .....	29
<b>Figura 12</b> Diagrama de bloques rectificador monofásico.....	30
<b>Figura 13</b> Motor CC modelo.....	31
<b>Figura 14</b> Banco de carga capacitiva .....	32
<b>Figura 15</b> Diagrama de bloques del proyecto.....	34
<b>Figura 16</b> Simulación circuito de detección de cruces por cero .....	35
<b>Figura 17</b> Formas de onda detector de cruce por cero obtenidas de Proteus .....	37
<b>Figura 18</b> Simulación de circuito de control.....	38
<b>Figura 19</b> Formas de onda circuito de control. ....	39
<b>Figura 20</b> Simulación circuito rectificador monofásico controlado.....	40
<b>Figura 21</b> Formas de onda de salida en base al control de cada semiciclo. ....	41
<b>Figura 22</b> Implementación de circuito de detección de cruces por cero .....	42
<b>Figura 23</b> Implementación de circuito de control en protoboard .....	43
<b>Figura 24</b> Circuito de potencia en protoboard .....	44
<b>Figura 25</b> Ventana de Proteus .....	45

<b>Figura 26</b> <i>Circuito de simulación en Proteus</i> .....	46
<b>Figura 27</b> <i>PCB layout</i> .....	46
<b>Figura 28</b> <i>Área de trabajo de PCB</i> .....	47
<b>Figura 29</b> <i>Componentes y diseño de pistas</i> .....	47
<b>Figura 30</b> <i>Simulación de cara de componentes</i> .....	48
<b>Figura 31</b> <i>Pistas para impresión</i> .....	48
<b>Figura 32</b> <i>Aplicación de calor</i> .....	49
<b>Figura 33</b> <i>Desprendimiento de papel fotográfico</i> .....	49
<b>Figura 34</b> <i>Pistas quemadas en ácido</i> .....	50
<b>Figura 35</b> <i>Soldadura de componentes</i> .....	50
<b>Figura 36</b> <i>Pruebas del PCB impreso</i> .....	51
<b>Figura 37</b> <i>Cara frontal, diseño en AutoCAD</i> .....	51
<b>Figura 38</b> <i>Vectorizado cara frontal</i> .....	52
<b>Figura 39</b> <i>Corte y grabado Laser</i> .....	53
<b>Figura 40</b> <i>Grabado de texto y corte</i> .....	53
<b>Figura 41</b> <i>Forma de onda de alimentación</i> .....	54
<b>Figura 42</b> <i>Salida rectificadora 100.9v</i> .....	54
<b>Figura 43</b> <i>Salida rectificadora 78.9v</i> .....	55
<b>Figura 44</b> <i>Salida rectificadora 46.7v</i> .....	55

**Índice de tablas**

Tabla 1 <i>Dimensionamiento de cargas eléctricas.</i> .....	45
---	----

## Resumen

El proyecto consiste en implementar un módulo de electrónica de potencia para un circuito rectificador monofásico controlado de onda completa, el módulo se compone de diferentes fases para lograr tener un control absoluto del circuito. El módulo rectificador toma una señal de voltaje alterno 110 VAC que ingresa a la primera etapa la detección de cruces por cero que como bien lo indica detecta cuando los semiciclos positivos y negativos obtienen el valor de cero, estas señales del detector ingresan hacia un generador de pulsos controlado directamente por un potenciómetro el que se encarga de variar el ancho de pulso y generar una salida rectificadas en su totalidad, la tercera etapa denominada etapa de potencia realiza un control total tanto en el semiciclo positivo como en el semiciclo negativo a través de las señales de ancho de pulso que activan y desactivan los SCR's presentes en el circuito, y como última etapa tenemos la salida hacia las cargas con formas de onda rectificadas y variación del control.

Palabras clave:

- **RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO (SCR)**
- **CARGAS INDUCTIVAS Y RESISTIVAS.**
- **GENERACION DE ANCHO DE PULSO**
- **CONTROL DE ALIMENTACION ALTERNA**
- **RECTIFICADOR MONOFASICO**

### **Abstract**

The project consists of implementing a power electronics module for a controlled single-phase rectifier circuit of full wave, the module is composed of different phases to achieve absolute control of the circuit. The rectifier module takes an alternating voltage signal 110 VAC that enters the first stage the detection of zero crossings that as indicated detects when the positive and negative semi-cycles get the value of zero, these signals from the detector enter into a pulse generator controlled directly by a potentiometer which is responsible for varying the pulse width and generate a fully rectified output, the third stage called power stage performs a total control both in the positive and negative semicircle through the pulse width signals that activate and deactivate the SCR's present in the circuit, and as a last stage we have the output to the loads with rectified waveforms and control variation.

Key words:

- **CONTROLLED SILICON RECTIFIER (SCR)**
- **INDUCTIVE AND RESISTIVE LOADS.**
- **PULSE WIDTH GENERATION**
- **ALTERNATE POWER CONTROL**
- **SINGLE-PHASE RECTIFIER**

## Capítulo I

### 1. Tema

“Implementación de un módulo de electrónica de potencia para un circuito rectificador monofásico controlado de onda completa.”

#### 1.1. Antecedentes

La Sección Gestión de Tecnologías UGT de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se caracteriza por brindar preparación académica de alto nivel, generando competitividad y profesionalismo en el ámbito laboral, proporcionando conocimientos y capacidades en el desarrollo de las actividades.

“Los convertidores de energía son de gran importancia en la evolución de la electrónica debido a que la actualidad el uso de la tecnología es imprescindible en un mundo automatizado. A través de distintos métodos electrónicos se pueden realizar conversiones bien definidas que proporcionan energía adecuada, de acuerdo a las necesidades de los equipos, las cuales entregan a la salida un potencial fijo de corriente directa, para obtener voltajes de salida variable empleando SCR's.” (CHICAIZA & HINOJOSA, 2019)

La carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica perteneciente a la Sección Gestión de Tecnologías UGT de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, dispone de laboratorios donde se pueden desarrollar prácticas de electrónica básica, electrónica de potencia, control industrial, instrumentación, microcontroladores. La disponibilidad de los laboratorios ayuda a que el estudiante desarrolle sus destrezas y habilidades mediante el uso de módulos para prácticas.

Los rectificadores (Convertidores CA/CD) están inmersos dentro de la industria para la alimentación de cargas resistivas o inductivas, siendo una de las aplicaciones más encontradas que utilizan la energía eléctrica como recurso. Estos sistemas de alimentación permiten el control de trabajo y producción.

### **1.2. Planteamiento del problema**

La falta de módulos para el desarrollo de prácticas dentro de los laboratorios de la Sección Gestión de Tecnologías UGT de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE hace que el docente se retrase en el cumplimiento de la malla curricular y que el estudiante pierda tiempo en el rearmado de un circuito recursivo, generándole costos adicionales al adquirir elementos electrónicos para cada una de las prácticas.

La falta de un módulo de trabajo influencia de forma negativa al estudiante a través de sus prácticas, ya que se presentan distintos problemas al momento de desarrollarlas. Un módulo trabaja con las correctas funciones de control para que el mismo no genere una detección de activación por ruido.

### **1.3. Justificación**

Los laboratorios de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica tienen una afluencia diaria de estudiantes que hacen uso de sus equipos, estaciones de trabajo e instrumentos. Estos brindan una preparación óptima, por ello se ve la necesidad de realizar la implementación de un módulo de electrónica de potencia para un circuito rectificador monofásico controlado de onda completa, lo cual mejora el desarrollo de las prácticas dentro de los laboratorios.

De esta manera todos los estudiantes que conforman la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica se verán beneficiados, ya que el módulo contará con los recursos necesarios para el desarrollo y desenvolvimiento del futuro profesional. Optimizando tiempo para el desarrollo de prácticas y recursos de los estudiantes.

El dimensionamiento de los componentes electrónicos y el diseño del circuito es viable en costo e implementación. Servirá para que el estudiante pueda: conectar diferentes cargas, visualizar formas de onda, medir los diferentes valores de corriente y voltaje. Esto con el fin de obtener resultados satisfactorios en el aprendizaje.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Implementar un módulo de electrónica de potencia para circuito rectificador monofásico controlado de onda completa.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar e investigar circuitos rectificadores controlados de onda completa mediante una investigación bibliográfica para comprender su funcionamiento
- Diseñar un sistema de control mediante ancho de pulso para el rectificador monofásico controlado de onda completa.
- Implementar una placa para la conexión, visualización y medida de ondas con cargas resistivas e inductivas mediante un osciloscopio.

## **1.5. Alcance:**

La implementación del módulo de rectificador de onda completa va dirigido a los alumnos de la Carrera Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica de la Sección Gestión de Tecnologías UGT, el cual permite al alumno desarrollarse en el campo práctico de manejo de los rectificadores y a su vez en la visualización de estos resultados mediante un osciloscopio dando cumplimiento a altos estándares educativos y desarrollándose como una base introductoria a un campo laboral

La implementación del módulo contará con un esquema de conexión base, una entrada monofásica 110v, una salida para conexión de cargas sean estas inductivas o resistivas, conexión con borneras para medición de ondas con un osciloscopio y una placa de control de ancho de pulso. Esto permitirá al estudiante: realizar conexiones y medidas de los diferentes elementos electrónicos, tomar medidas de las cargas, ver la forma de onda que genera la entrada y la salida del circuito, realizar un control del ancho de pulso para el circuito rectificador.

## Capítulo II

### 2. Marco teórico

Este capítulo permite visualizar la terminología y los conceptos básicos empleados dentro de la investigación. Estos permiten comprender con mayor claridad el funcionamiento de los componentes dentro de un rectificador y las características que posee, todo esto englobado dentro de los sistemas electrónicos de potencia.

#### 2.1. Definiciones

##### 2.1.1. *Rectificador*

Un circuito rectificador es aquel que obtiene una señal de corriente continua a partir de una señal de corriente alterna. (BOYLESTAD, 2009)

Esta señal de corriente continua en su salida debe:

- Ser proporcionada con una mínima cantidad de armónicos.
- Mantener la entrada sinusoidal.

Esto para que el factor de potencia pueda mantenerse lo más cercano a la unidad.

##### 2.1.2. *Factor de potencia*

Es la representación de la eficiencia dentro de una red eléctrica.

##### 2.1.3. *PWM*

PWM (Modulación por ancho de pulsos) esta técnica basa su funcionamiento en el cambio de ciclo de trabajo de señales cuadradas o sinusoidales denominadas señales periódicas. (BOYLESTAD, 2009)

##### 2.1.4. *Detector de cruces por cero*

Un circuito denominado cruce por cero es aquel que censa el cambio de polaridad en niveles, trabaja bajo los mandos de 1 lógico en su parte positiva y 0 lógico en su parte negativa. (BOYLESTAD, 2009)

## **2.2. Electrónica de Potencia**

Electrónica de potencia es una subdivisión de la electrónica que hace referencia al estudio de dispositivos que facilitan procedimientos de control, procesamiento de señales y transformación de energía eléctrica teniendo en cuenta los niveles significativos de corriente y voltaje. (BOYLESTAD, 2009)

### **2.2.1. Dispositivos electrónicos de potencia**

Los dispositivos electrónicos de potencia son semiconductores empleados en diferentes aplicaciones desarrollados de los diodos o de los transistores que permiten el control del paso de corriente. (BOYLESTAD, 2009)

Dentro de estos dispositivos se puede encontrar los siguientes:

- SCR (rectificador controlado de silicio)
- TRIAC
- TRANSISTOR IGBT (transistor bipolar con compuerta aislada)
- TRANSISTOR GTO (tiristor apagado por compuerta)
- TRANSISTOR IGCT (tiristor controlado por compuerta)
- TRANSISTOR MCT (tiristor controlado por MOS)

#### **a. SCR (Rectificador Controlado de Silicio)**

Es un tiristor compuesto de 2 uniones P-N de forma sucesiva, estas constituyen una estructura P-N-P-N. Cuenta con tres contactos de conexión exterior denominados K (cátodo), G (Gate o Puerta) y A (ánodo). (BOYLESTAD, 2009)

Para que un SCR entre en estado de conducción es necesario un impulso positivo que sea suficientemente largo ya que la corriente que circula por el ánodo-cátodo debe alcanzar un valor mínimo para lograr mantenerse en conducción antes que el impulso positivo desaparezca.

El bloqueo del SCR se consigue únicamente bajando la corriente de mantenimiento del tiristor por debajo de cero.

### **2.3. Sistemas de Potencia**

Canteli (2017) define los sistemas de potencia como sistemas electrónicos accionados directamente por energía eléctrica en una o varias de sus etapas, basan su funcionamiento en dos bloques:

- Circuito de mando
- Circuito de potencia

Estos representan su estructura básica ya que son adaptados a múltiples aplicaciones con características diferentes.

Tiene un grado de importancia fundamental dentro del desarrollo industrial ya que por una parte se necesita convertir las distintas formas en las que se p la energía eléctrica y por otra parte es necesario un control óptimo de los procesos a realizarse con esta energía.

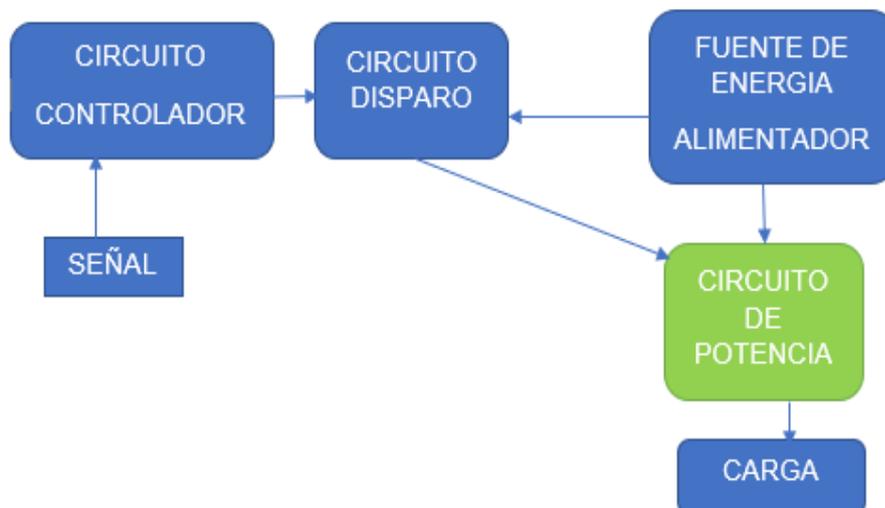
#### **2.3.1. Circuito de mando**

Un circuito de mando está compuesto por:

- Circuito controlador: este circuito toma señales de referencia para poder controlar cualquier proceso de conversión eléctrica con esto genera señales para apagar o prender los dispositivos dentro del circuito de potencia de manera adecuada.  
(Canteli, 2017)
- Circuito de disparo: este circuito toma señales provenientes del circuito de control y prende y apaga los semiconductores de potencia en este caso los tiristores, se lo relacionaría como un actuador para el cambio de estado de los semiconductores.  
(Canteli, 2017)

**Figura 1**

*Estructura de un sistema de Potencia*



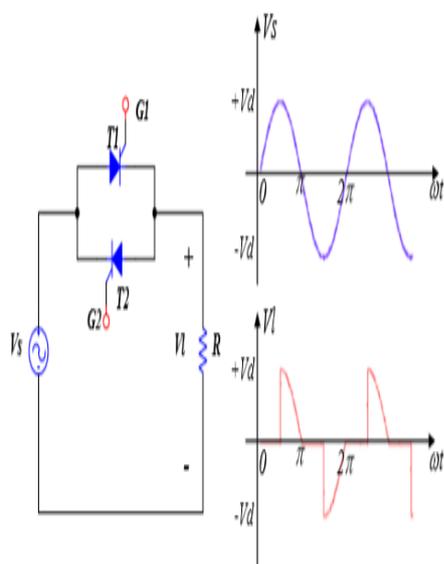
## 2.4. Conversores de potencia electrónicos

### 2.4.1. Generalidades

Un convertidor de potencia es un aparato electrónico que tiene como fin cambiar un formato de energía de salida por uno diferente al de entrada, por ejemplo, la obtención de corriente continua a partir de corriente alterna. En los últimos años los convertidores de potencia se han visto reducidos en tamaños y costos mejorando también dos grandes ventajas las cuales son: eficiencia y fiabilidad, que les brinda un rango amplio en aplicaciones. (CHICAIZA & HINOJOSA, 2019)

### 2.4.2. Conversor AC/AC

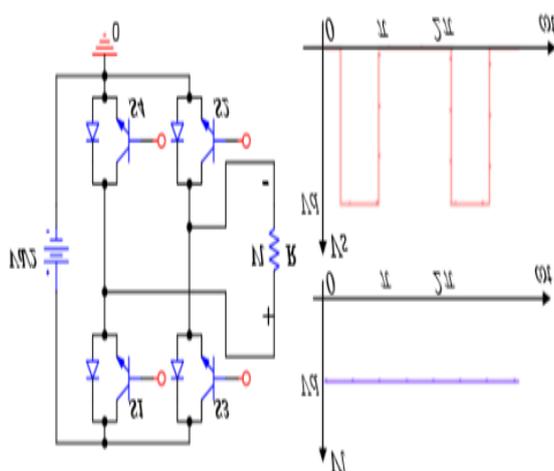
Estos conversores son denominados reguladores de alterna trabajan bajo la misma frecuencia, pero obtiene corriente de salida alterna variable a partir de una corriente de entrada alterna fija.

**Figura 2***Conversor AC/AC*

*Nota:* Tomado de Diseño e implementación de un rectificador trifásico totalmente controlado con factor de potencia mejorado basado en tecnología CMOS y DSP (p.31) por F. Barrero, 2007, Universidad Industrial de Santander

### 2.4.3. *Conversor DC/DC*

Estos convertidores obtienen voltaje variable en su salida a partir de un voltaje fijo o constante. (VARA, 2017)

**Figura 3***Conversor DC/DC*

*Nota:* Tomado de Diseño e implementación de un rectificador trifásico totalmente controlado con factor de potencia mejorado basado en tecnología CMOS y DSP (p.30) por F. Barrero, 2007, Universidad Industrial de Santander

#### **2.4.4. Conversor AC/DC**

Estos convertidores también denominados rectificadores son los encargados de obtener una señal de corriente continua a partir de una señal de corriente alterna, debido a sus usos dentro de aplicaciones y las diferentes posibilidades que tienen para poder controlarlos tienen dos clasificaciones: (VARA, 2017)

- Controlados: Adquieren un control total del convertidor a través de disparos de ángulo.
- No controlados: Ayuda únicamente a rectificar la señal mas no a controlarla

#### **Figura 4**

*Diagrama de Bloques convertidor AC/DC*

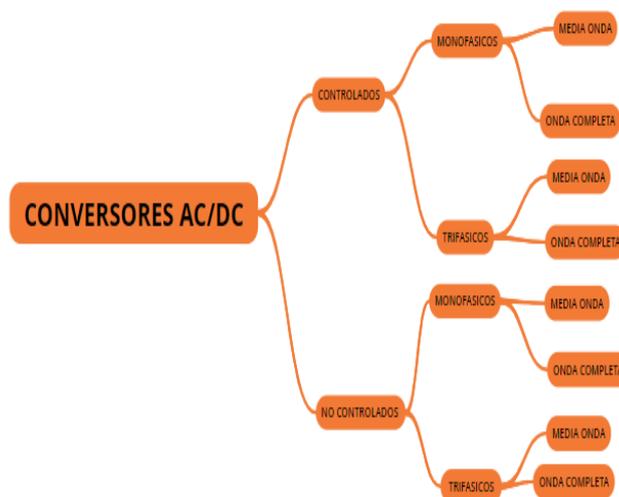


#### **2.4.5. Clasificación convertidores AC/DC**

Dos subdivisiones o clasificaciones se pueden dar dentro de estos convertidores que se pueden visualizar mediante el siguiente esquema.

**Figura 5**

*Clasificación esquemática de convertidores*

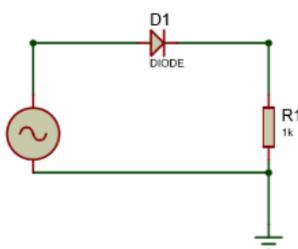


**a. Rectificador monofásico no controlado de media onda.**

Este rectificador únicamente cumple la función de rectificar el voltaje de entrada en su segmento positivo es decir que únicamente rectifica la señal cuando hay conducción por el ánodo hacia el cátodo. (ROJAS ESPINOZA & NIETO PIERUCCINI, 2007)

**Figura 6**

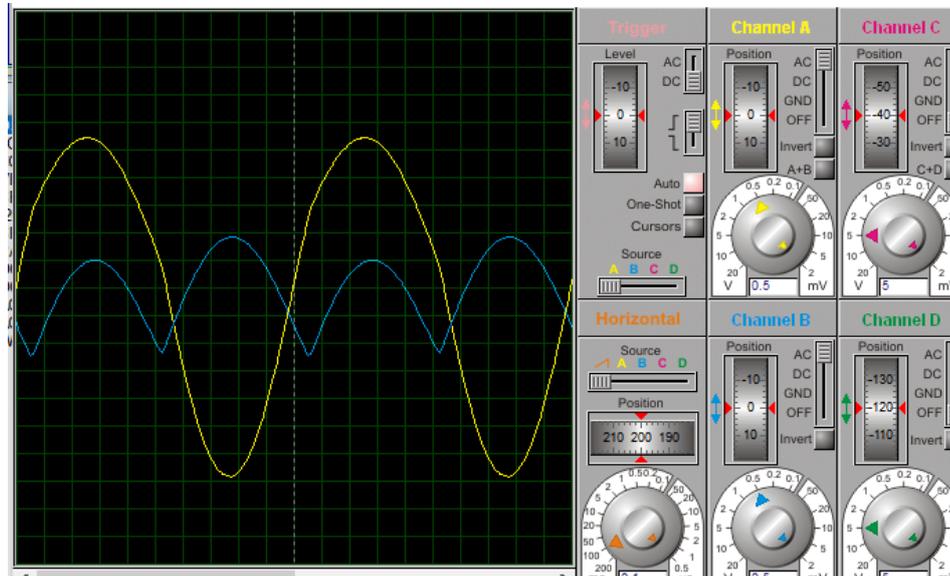
*Rectificador monofásico no controlado de media onda*



El funcionamiento básico del circuito de la (Figura 6) es obtener una forma de onda unidireccional en el semiciclo positivo a partir de una onda sinusoidal completa como se visualiza en la (Figura 7)

**Figura 7**

Señal rectificador monofásico no controlado de media onda



*Nota:* Simulación realizada en el programa Proteus.

Según (BOYLESTAD, 2009) la tensión de salida se ve identificada por la siguiente formula:

$V_S = V_M \text{sen}(\omega t)$  y la tensión media de carga se ve identificada por la siguiente formula:

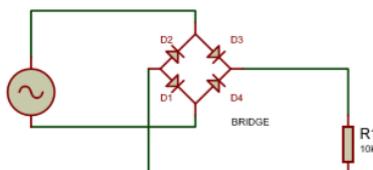
$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \text{sen} \omega t \, d(t)$$

### b. Rectificador no controlado de onda completa.

También denominado puente rectificador, está compuesto por diodos en configuración puente donde durante el semiciclo positivo el diodo D3 y D1 entraran en conducción, mientras que D2 y D4 contarán con una polarización inversa. (Figura 8)

**Figura 8**

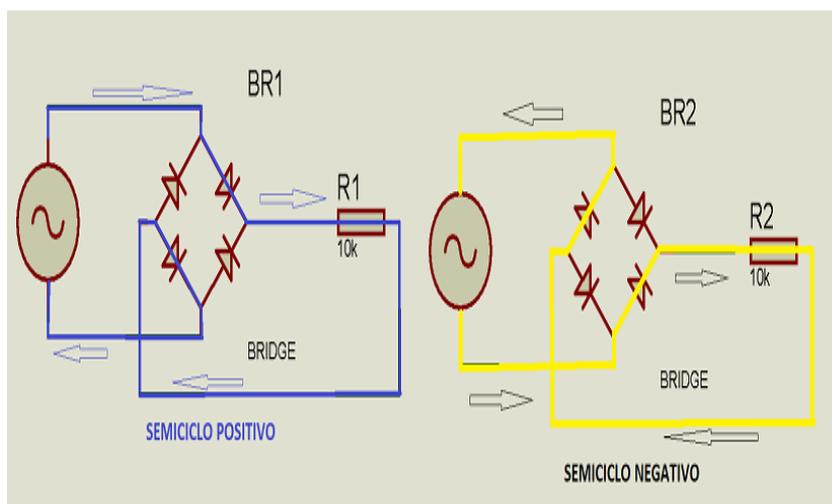
*Puente de diodos*



Durante el semiciclo negativo los diodos D2 y D4 entrarán en conducción mientras que D3 y D1 estarán polarizados inversamente impidiendo el paso de la corriente tal como se visualiza en la (Figura 9).

### Figura 9

*Recorrido de la corriente durante los semiciclos*



### c. Rectificador controlado monofásico de media onda.

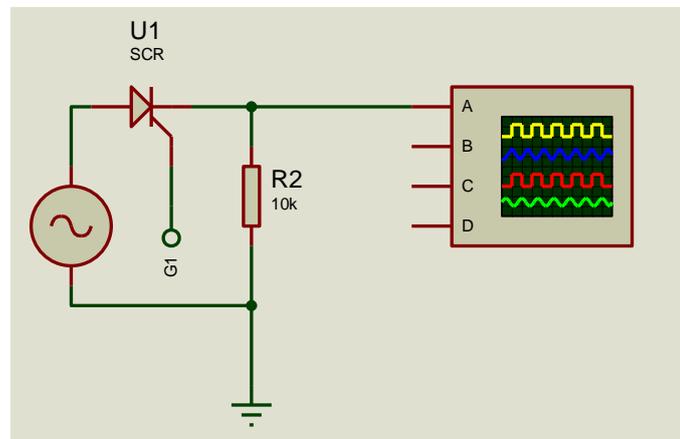
Este rectificador a diferencia del no controlado cambia un SCR por el diodo como se visualiza en la (Figura 10), el SCR sirve para lograr el control del rectificador. (JAIRO, 2018).

Para que un SCR entre en conducción es importante cumplir con dos aspectos principales:

- Debe ser aplicada una corriente al pin GATE del SCR
- Debe haber una polarización directa del SCR, es decir, la corriente debe circular desde el ánodo hacia el cátodo.

**Figura 10**

*Rectificador monofásico controlado de media onda*



#### d. Rectificador semicontrolado de onda completa

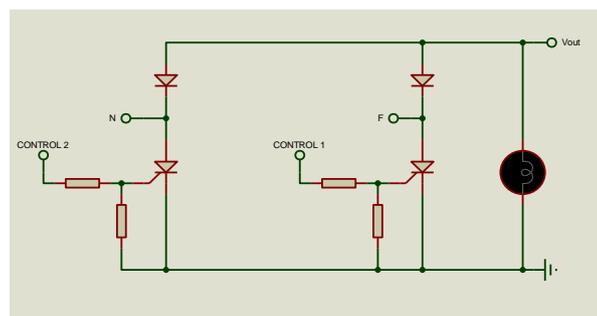
La presencia de diodos y SCR's dentro del circuito de control es una de las características más notables de estos rectificadores, al poseer esa mitad porcentual de control se obtiene un ángulo de disparo de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  el cual trabajara únicamente dentro del semiciclo positivo. (CHICAIZA & HINOJOSA, 2019)

Este rectificador cumple dos funciones:

- Convertir una señal AC para convertirla a DC.
- Controlar la conversión de la señal dentro de un cuadrante de trabajo brinda energía a la carga, pero no la recibe. (Figura 11)

**Figura 11**

*Rectificador monofásico controlado de media onda*

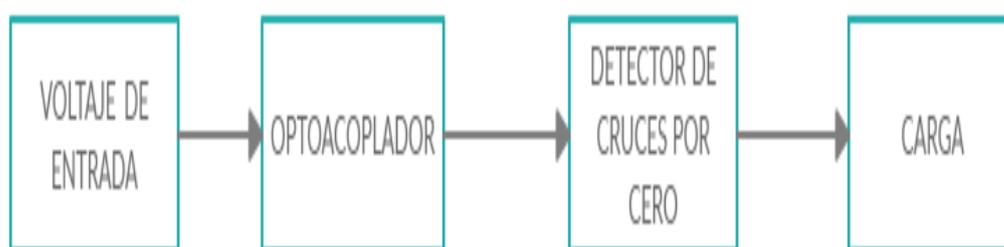


### e. Rectificador monofásico controlado de onda completa

Está compuesto por 4 tiristores en conexión tipo puente que brinda y recibe potencia. No denota mayor diferencia de trabajo al momento de usar cargas resistivas ya que tiene el mismo trabajo que un rectificador monofásico semicontrolado. (Figura 12)

**Figura 12**

*Diagrama de bloques rectificador monofásico.*



Un circuito rectificador monofásico controlado de onda completa es de gran utilidad cuando se trabaja con cargas inductivas ya que, al ser totalmente controlado, las cargas pueden detenerse directamente con el control y no necesariamente hay que esperar que la misma inercia de la maquina haga que se detenga. (JAIRO, 2018)

### f. Aplicaciones del Rectificador monofásico controlado de onda completa

Hay que tener claro que existen aparatos que por su naturaleza o características necesitan de una fuente de entrada que no genere ningún tipo de ruido, es ahí donde radica la importancia de estos rectificadores. (JAIRO, 2018); Como claras aplicaciones se menciona:

- Televisiones

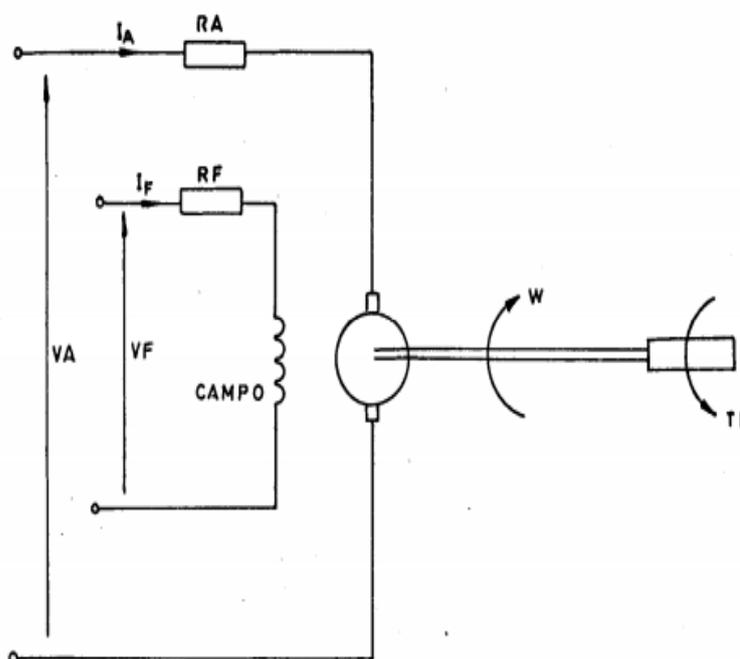
- Computadoras
- Equipos de video
- Equipos de sonido
- Radiorreceptores

## 2.5. Cargas

En electrónica se le asigna el nombre de cargas a cualquier componente sea este resistencia, motor o equipo electrónico (Figura 13) que brinde resistencia al paso de la corriente, a su vez la carga se definiría como un consumidor de energía dentro de un circuito. (Canteli, 2017)

**Figura 13**

*Motor CC modelo.*



*Nota:* Tomado de Diseño y construcción de un equipo didáctico para el análisis experimental de rectificadores controlado, y sistema de control de velocidad para motores de corriente continua. (p.75) por F. Suarez, 2010, Escuela Superior Politécnica del Litoral.

### 2.5.1. Cargas capacitivas

Al hablar de cargas capacitivas hace referencia directa a los capacitores, toma la energía proveniente de la fuente, la regresa y no hace ningún uso de ella. Dentro de las cargas capacitivas se debe tener en cuenta el tiempo que tarda en cargar un capacitor ya que este puede generar reactancias o energías parasitas dentro del circuito. (Canteli, 2017)

#### Figura 14

*Banco de carga capacitiva*



*Nota:* Tomado de Diseño y construcción de un equipo didáctico para el análisis experimental de rectificadores controlado, y sistema de control de velocidad para motores de corriente continua. (p.34) por F. Suarez, 2010, Escuela Superior Politécnica del Litoral.

### 2.5.2. Carga resistiva

Una carga resistiva es aquella que convierte en cierto modo la energía eléctrica en energía calórica dando así iluminación, un claro ejemplo de esto son las luces incandescentes que utilizan una carga resistiva para generar luminosidad. (GONZALES, 2010)

### 2.5.6. Cargas inductivas

Son cargas que forman directamente campos electromagnéticos aprovechando el paso de la energía eléctrica, desfasan esta corriente  $90^\circ$  de la tensión nominal aplicada para ser aprovechados por transformadores o motores que contienen en su composición bobinas. (JAIRO, 2018)

### 2.5.7. Transformadores.

Son dispositivos eléctricos que cambian la tensión de salida con respecto a la tensión de entrada a través del paso de la corriente eléctrica por las bobinas que los conforman. (QUINDE, 2016)

- Transformadores Reductores: reducen la tensión de salida con respecto a la tensión de entrada, el número de espiras en su entrada es mayor al número de espiras en su salida ( $N_2 < N_1$ )
- Transformadores Elevadores: elevan la tensión de salida con respecto a la tensión de entrada, el número de espiras en su salida es mayor al número de espiras en su entrada ( $N_1 < N_2$ )
- Transformadores de aislamiento: mantienen la misma tensión que se obtiene en la entrada, se lo utiliza como una medida de protección, mantienen el mismo número de espiras en su entrada tanto como en su salida ( $N_2 = N_1$ )

### 2.5.8. Motores DC

Un motor DC es aquel que funciona con una corriente continua. (QUINDE, 2016)

Posee dos características principales:

- Una de las particularidades de este motor es que puede trabajar en sentido horario y también en sentido anti horario dependiendo de la polarización del mismo.
- Puede trabajar como motor o como generador es decir puede transformar la energía eléctrica en mecánica y viceversa.

## Capítulo III

### 3. Desarrollo del tema

#### 3.1. Introducción

Los circuitos rectificadores monofásicos tienen una gran demanda dentro de la industria, por esta razón el actual proyecto brindará a los estudiantes de la carrera de Tecnología Superior en Automatización e Instrumentos de la Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga una ayuda notable en el desarrollo de las prácticas en el laboratorio, consiguiendo así aptitudes tanto prácticas como teóricas para el futuro desenvolvimiento laboral.

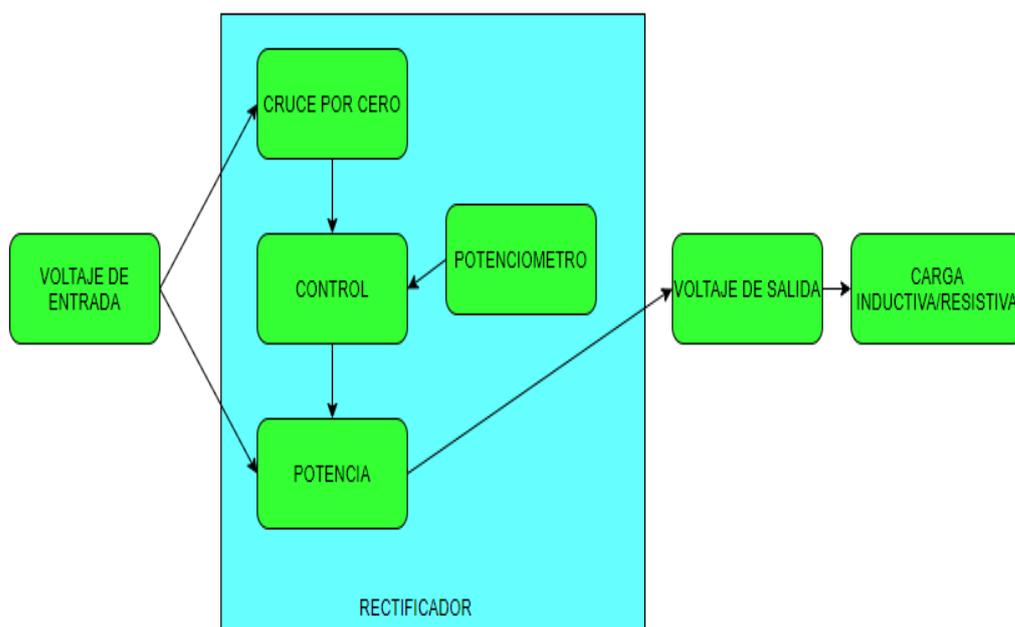
#### 3.2. Simulación del circuito

##### 3.2.1. Diagrama de bloques del proyecto.

El diagrama de bloques del circuito rectificador monofásico controlado de onda completa se ve reflejado en la Figura 18

#### Figura 15

*Diagrama de bloques del proyecto*



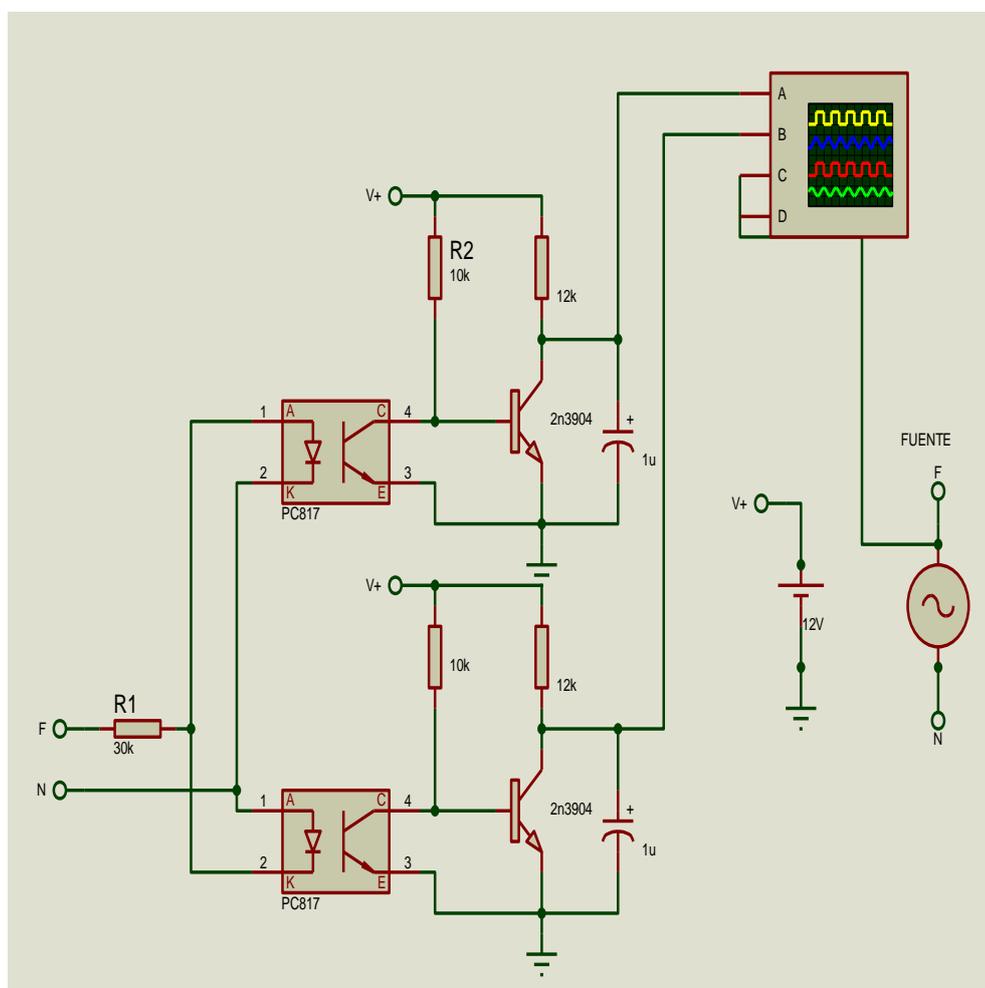
### 3.2.2. Simulación circuito de detección de cruces por cero

Refleja una gran importancia dentro del rectificador ya que informa directamente al circuito de control el cambio entre los semiciclos positivos y negativos para que este pueda activar o desactivar los tiristores.

El opto acoplador PC817 es un dispositivo electrónico que nos permite separar las 2 etapas dentro de nuestro circuito la primera etapa que consiste de una fuente de voltaje alterno 110V y la segunda de un voltaje continuo de 12 voltios. (Figura 16)

**Figura 16**

*Simulación circuito de detección de cruces por cero*



**a. Cálculos del circuito de detección de cruces por cero**

Calculo para una señal AC 110v 60hz con una fuente VCC de 12v. Según Figura 19.

*CALCULO DE R1 Y R4* (Figura 19)

$$R1 = (VAC * 250)(\Omega)$$

$$R1 = (110 * 250)(\Omega)$$

$$R1 = 27K(\Omega)$$

$$R4 = (VCC * 1000)(\Omega)$$

$$R4 = (12 * 1000)(\Omega)$$

$$R4 = 12K(\Omega)$$

*CALCULO DE POTENCIA DE R1 Y R4* (Figura 19)

$$PR1 \geq (VAC/125)(W)$$

$$PR1 \geq (110 * 125)(W)$$

$$PR1 \geq 0.88(W)$$

$$PR4 \geq (VCC/500)(W)$$

$$PR4 \geq (12/500)(W)$$

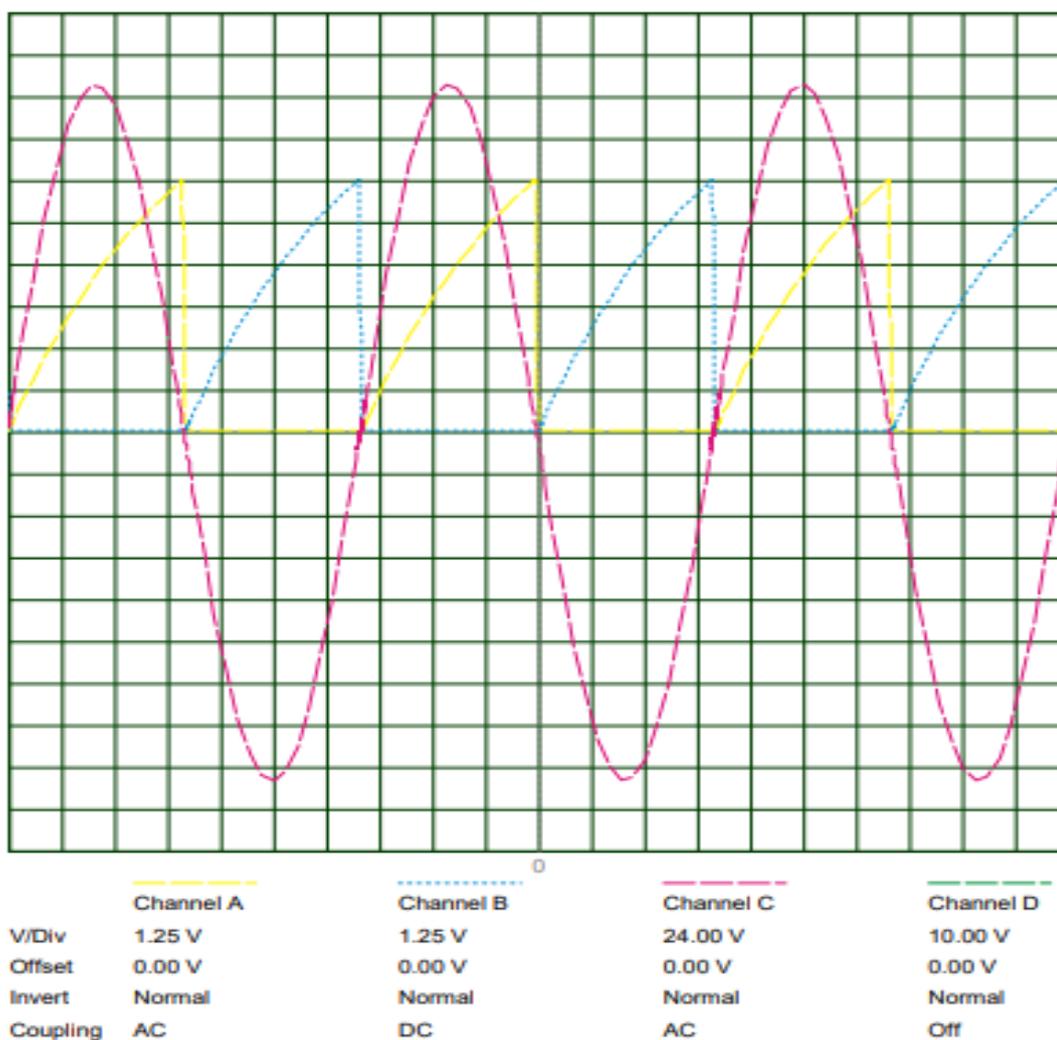
$$PR4 \geq 24mW$$

b. Formas de onda dentro de Proteus obtenidas a partir del circuito

Figura 17

Figura 17

Formas de onda detector de cruce por cero obtenidas de Proteus



El canal A representa el cruce por cero del semiciclo positivo

El canal B representa el cruce por cero del semiciclo negativo

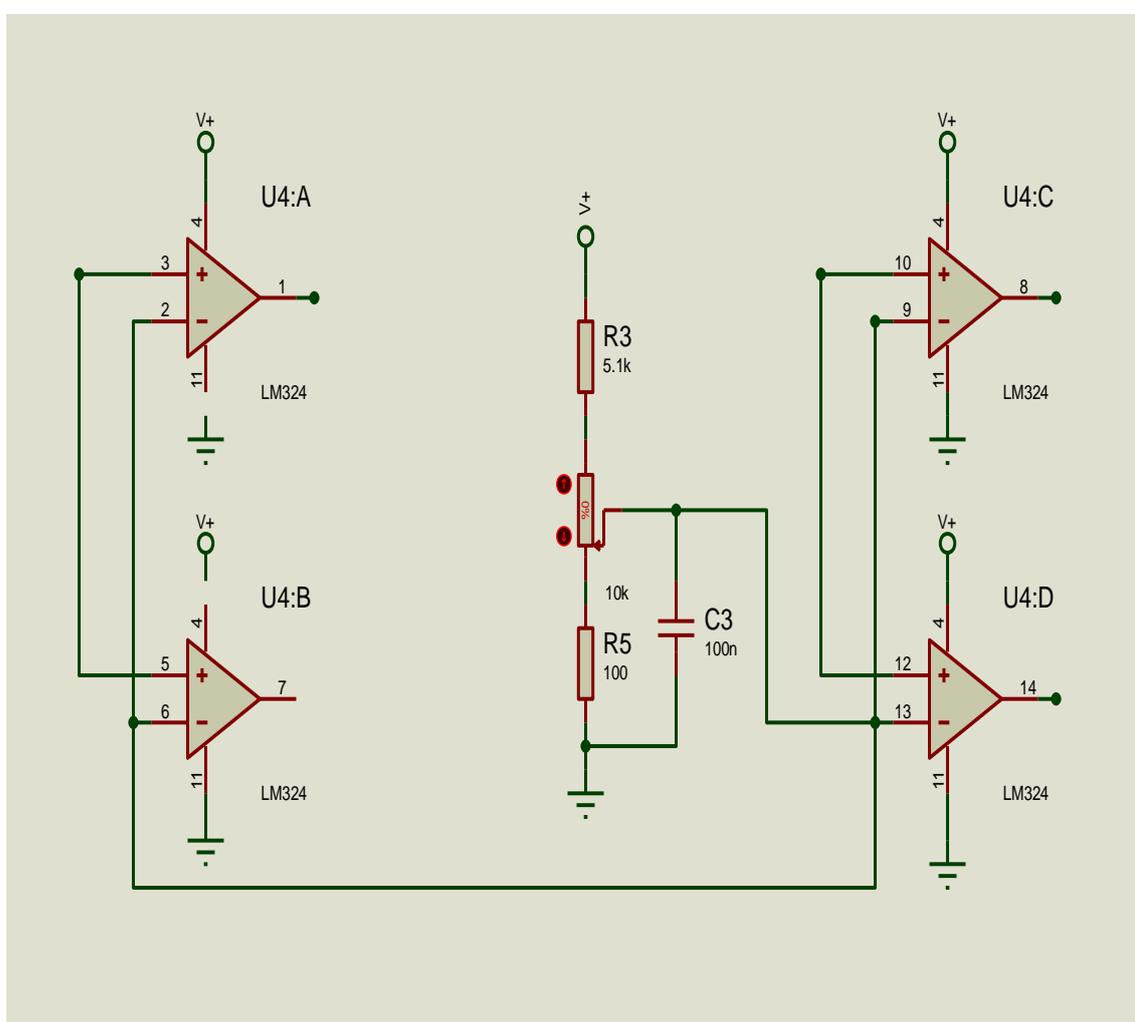
El canal C representa la señal de entrada alterna.

### 3.2.3. Simulación en Proteus del circuito de control del rectificador monofásico controlado de onda completa

El circuito representado en la Figura 18 está compuesto por 4 lm324 que en dispositivo físico electrónico se convierte en uno solo. El control está definido directamente por un potenciómetro el cual variará el ángulo de disparo de cada tiristor.

**Figura 18**

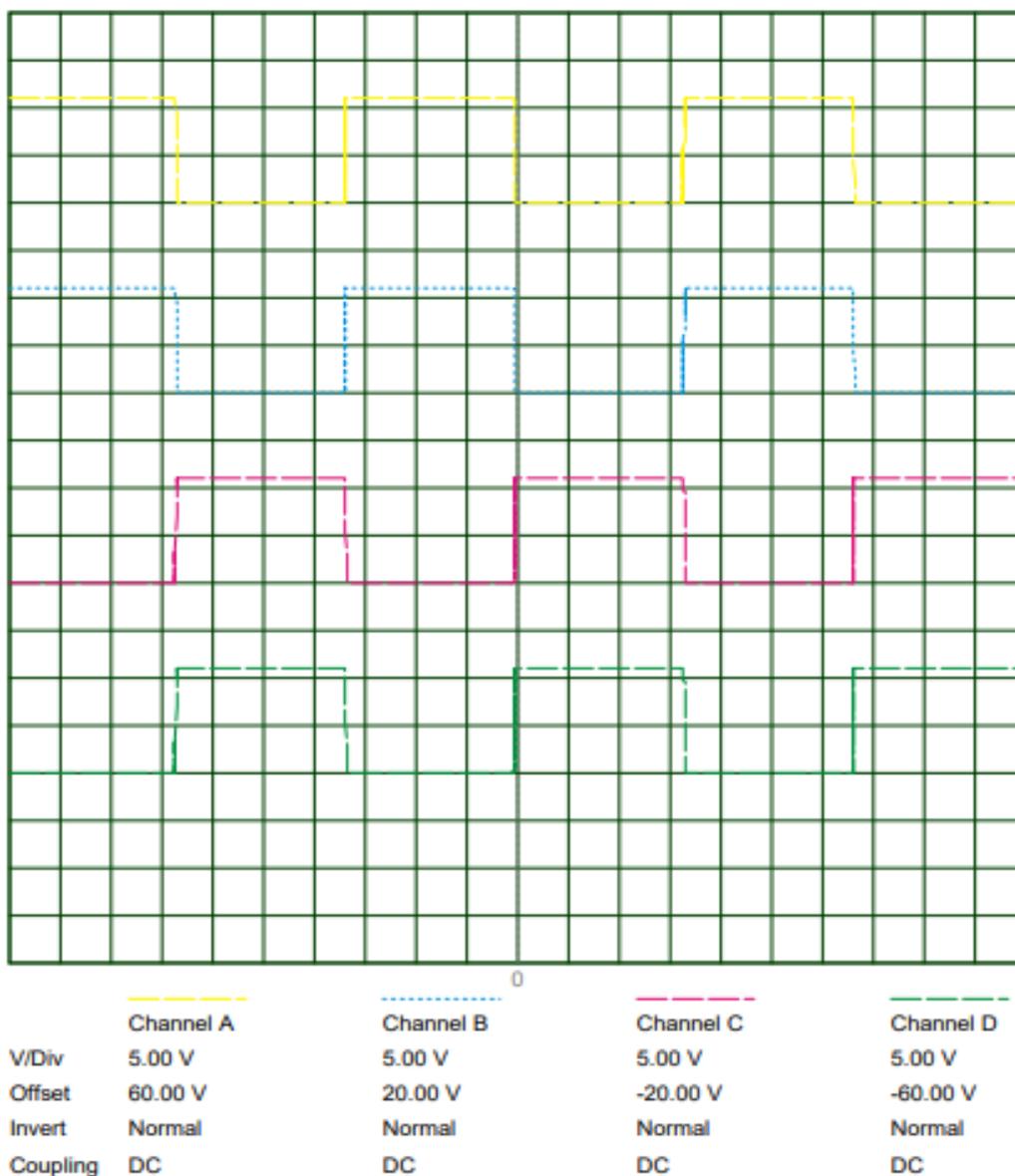
*Simulación de circuito de control*



### 3.2.4. Formas de onda dentro de Proteus obtenidas a partir del circuito de la Figura 19.

**Figura 19**

*Formas de onda circuito de control.*



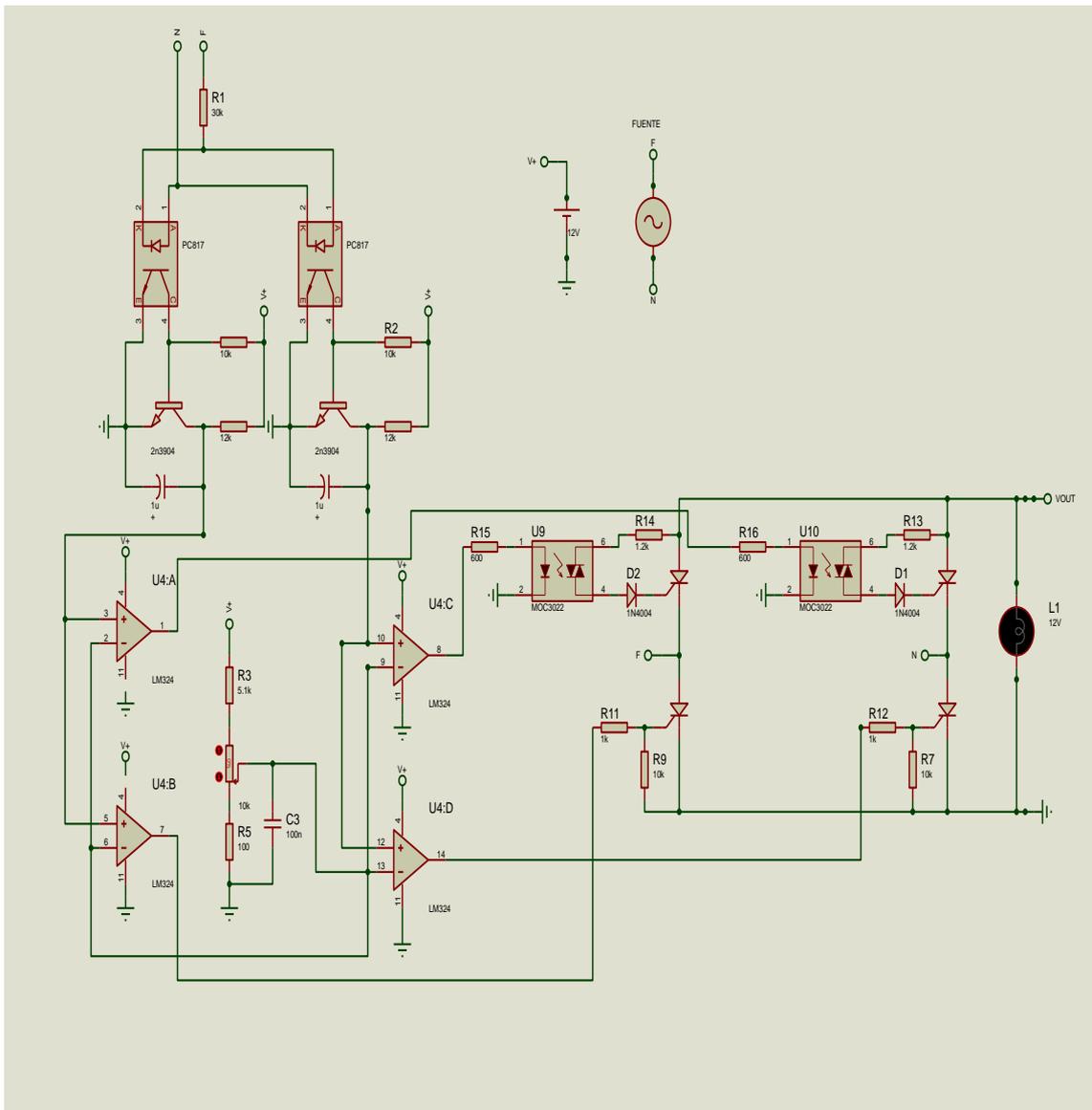
El canal A y B representan el pulso de control para el semiciclo negativo.

El canal C y D representan el pulso de control para el semiciclo positivo.

### 3.2.5. Simulación en Proteus del circuito de control del rectificador monofásico controlado de onda completa

**Figura 20**

*Simulación circuito rectificador monofásico controlado*



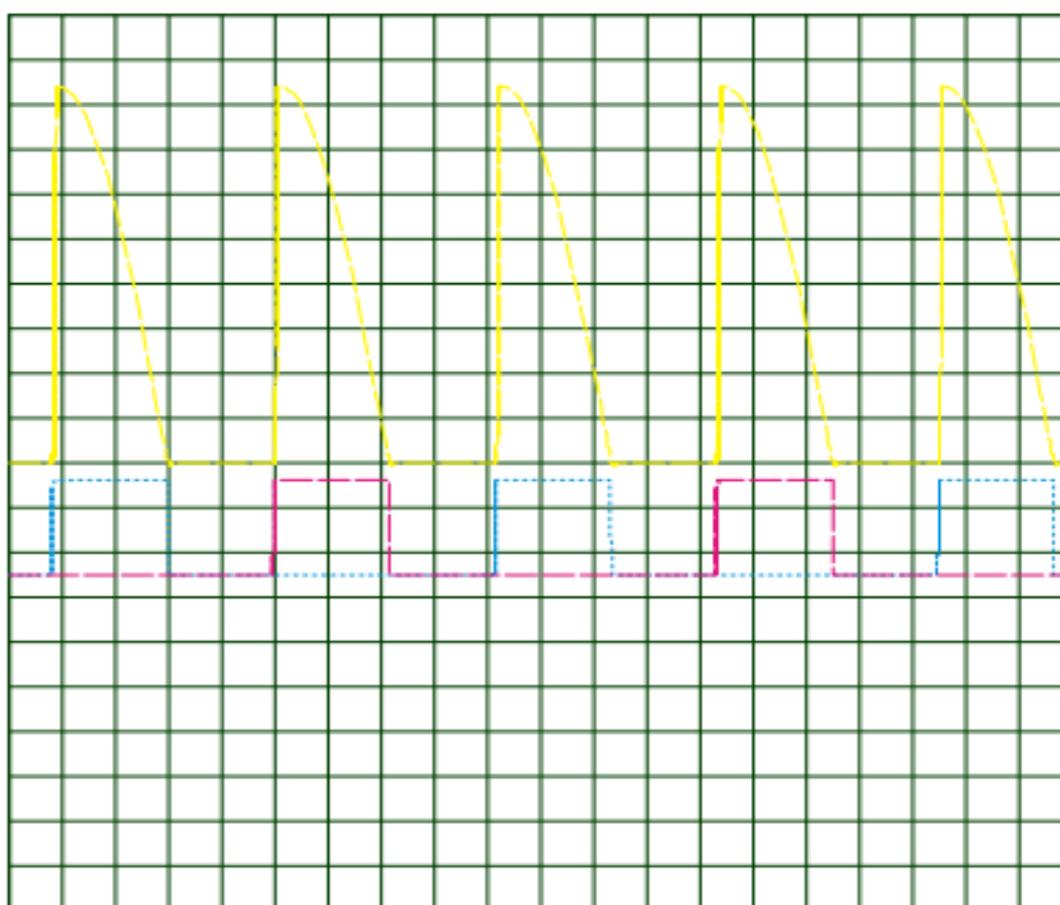
En la Figura 23 se anexa ya el circuito de detección de cruces por cero, el circuito de control y el circuito de potencia, este último conformado por 4 SCR's encargados de rectificar la señal de entrada a partir de las señales enviadas por el circuito de control.

**a. Formas de onda dentro de Proteus para circuito rectificador monofásico controlado de onda completa**

Se visualizan las formas de onda en base al cambio del control de cada semiciclo teniendo así que el canal A representa la señal rectificada de salida, el canal B representa el control del semiciclo negativo y el canal C representa el control del semiciclo positivo.

**Figura 21**

*Formas de onda de salida en base al control de cada semiciclo.*



	Channel A	Channel B	Channel C	Channel D
V/Div	20.00 V	5.00 V	5.00 V	20.00 V
Offset	0.00 V	-25.00 V	-25.00 V	0.00 V
Invert	Inverted	Normal	Normal	Normal
Coupling	DC	DC	DC	Off

### 3.3. Implementación del circuito por etapas.

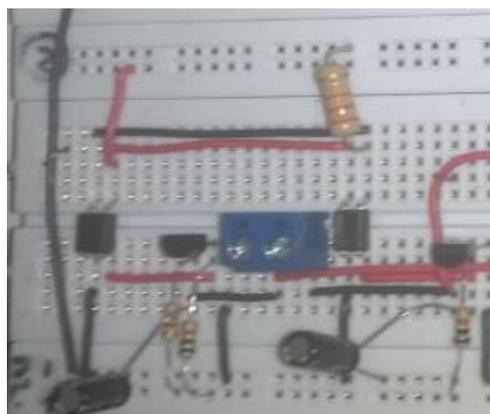
#### 3.3.1. Primera etapa.

Está conformada por el circuito de detección de cruces por cero donde se obtiene los siguientes elementos bajo las siguientes condiciones de conexión:

- El primer PC817 conectado el pin 1 a la fase y el pin 2 al neutro de la fuente alterna.
- El segundo PC817 conectado el pin 1 al neutro y el pin 2 a la fase de la fuente alterna.
- El pin 4 conectado con una resistencia de  $10K\Omega$  en serie al positivo de la fuente de 12v y a la base del transistor NPN, la salida de datos será entre el colector y la resistencia de  $12K\Omega$  conectada en serie al positivo de la fuente.
- El pin 3 conectado a tierra de la fuente de 12 voltios al igual que el emisor del transistor NPN.
  - La conexión del pin 3 y pin 4 se repite en los dos optoacopladores.

#### Figura 22

*Implementación de circuito de detección de cruces por cero*



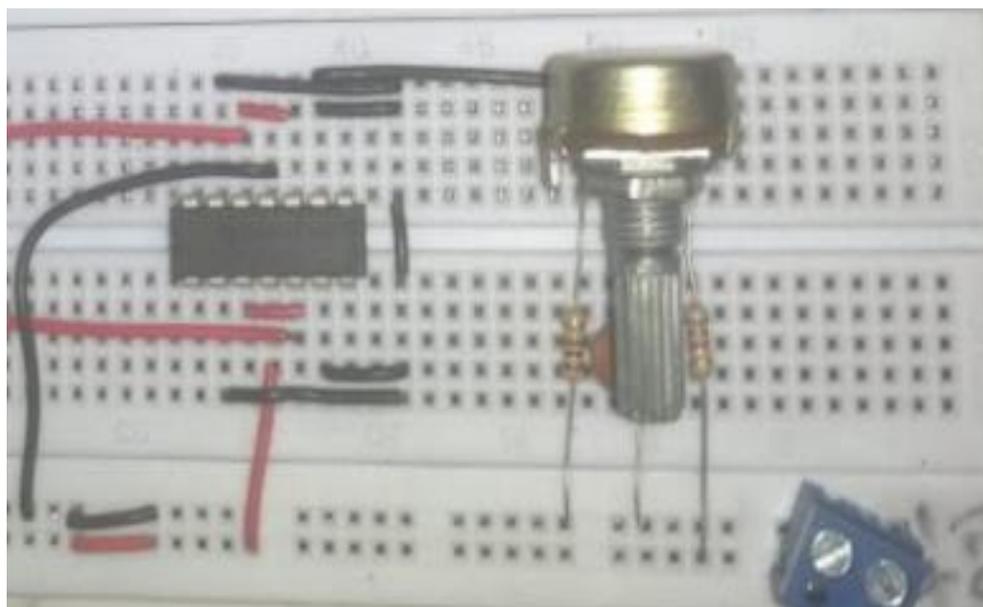
#### 3.3.2. Segunda etapa

Esta segunda etapa está conformada por el circuito de control conectado los elementos bajo las siguientes condiciones:

- Un Im324 con fuente de alimentación de 12 voltios pin 4 al positivo de la fuente y pin 11 conectado a tierra o negativo de la fuente
- Los pines 2,6,9,12 conectados al pin central del potenciómetro de 10K $\Omega$  el mismo que estará conectado con resistencias a la fuente de 12 voltios para realizar el control.
- Los pines 3 y 5 conectados a la señal de datos provenientes del circuito de detección de cruce por cero y los pines 10 y 12 conectados a la otra señal de datos del mismo circuito.
- Los pines 1, 7, 8,14 son las salidas que controlaran el circuito de potencia.

**Figura 23**

*Implementación de circuito de control en protoboard*

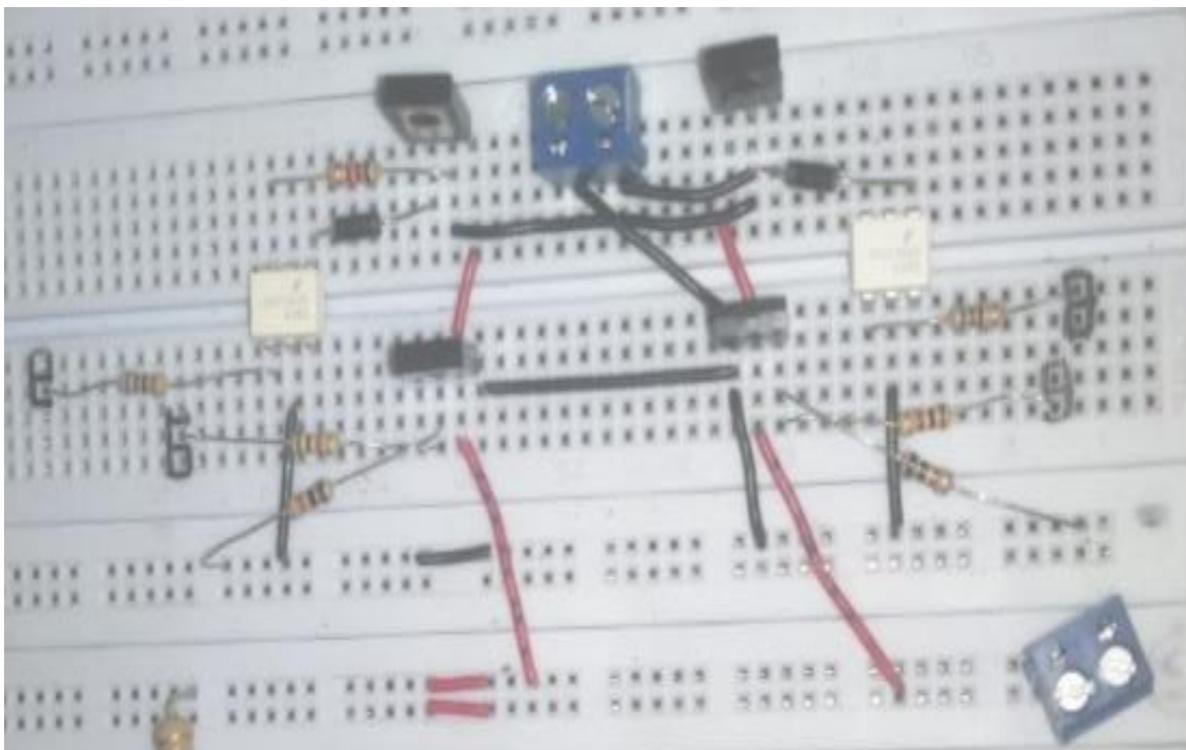


### **3.3.3. Tercera etapa.**

Conformada plenamente del circuito de potencia esta etapa hace uso de tiristores específicamente SCR's, los cuales al recibir las señales del circuito del control que activan y desactivan los tiristores rectificaran la señal de entrada y obtendrán el control total de la señal de salida.

**Figura 24**

*Circuito de potencia en protoboard*



### 3.4. Dimensionamiento de cargas.

Dentro de las cargas para la prueba de circuitos existen 1 carga resistiva (foco) y una carga inductiva (motor).

- El consumo en watts del foco asciende a 100w y el del motor a 600w
- El CI resulta de la multiplicación de la cantidad de aparatos eléctricos y la potencia nominal del aparato eléctrico
- Para la obtención del CIR se asume una frecuencia de uso del 100% es decir que va a estar en uso siempre.

$$CIR = CI \times FFUn \times 0.01$$

- El FS<sub>n</sub> nos define un consumo reducido de los aparatos que vendría ser la realidad no viene a estar en un constante uso por lo cual se calcula la demanda del circuito en watts.

Tabla 1

*Dimensionamiento de cargas eléctricas.*

REGLON	DESCRIPCION	CANT.	PN(w)	CI(W)	FFUn(%)	CIR(W)	FSN(%)	DMU(W)
1	FOCO	1	100	100	100	100	62.5	63
2	MOTOR	1	600	600	100	600	62.5	375
<b>TOTAL</b>				<b>700</b>		<b>700</b>		<b>438</b>

- La demanda total amperes seria la siguiente:

$$I = W \div V$$

$$I = 438W \div 110V$$

$$I = 3,98A$$

### 3.5. Diseño de PCB circuito impreso

El diseño de la placa PCB demanda de 4 etapas importantes:

- Creación del diseño
- Impresión del diseño
- Perforado suelda del PCB
- Pruebas del PCB

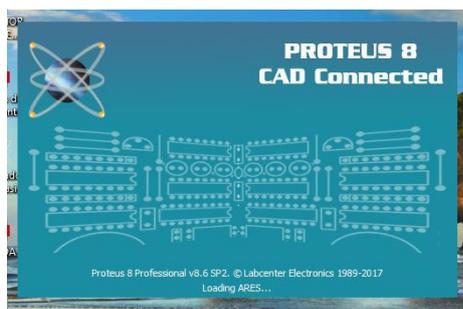
#### 3.5.1. Creación del diseño

La creación del diseño de la placa PCB se realizó en base a los siguientes pasos:

- Abrir el programa Proteus.

Figura 25

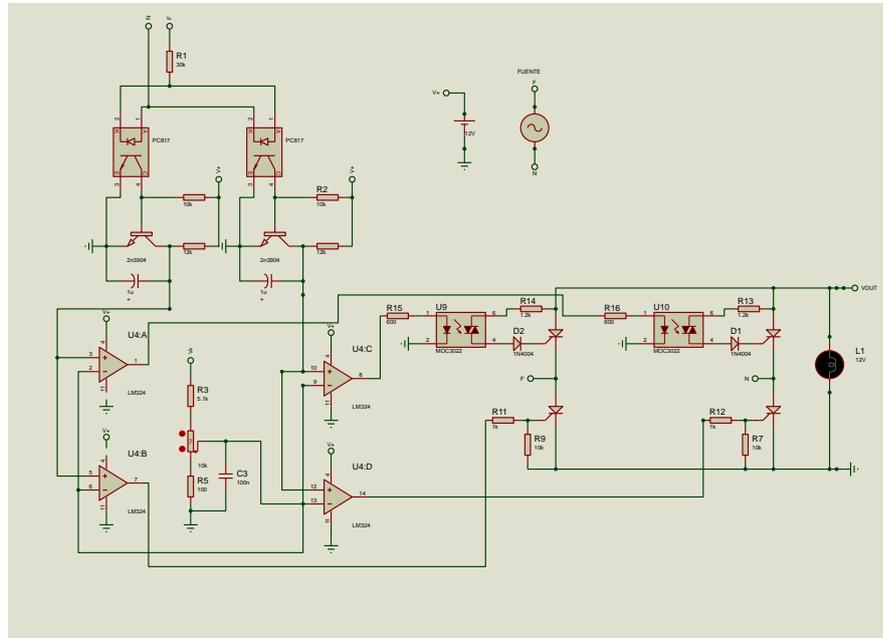
*Ventana de Proteus*



- Simular el circuito a diseñar en placa

**Figura 26**

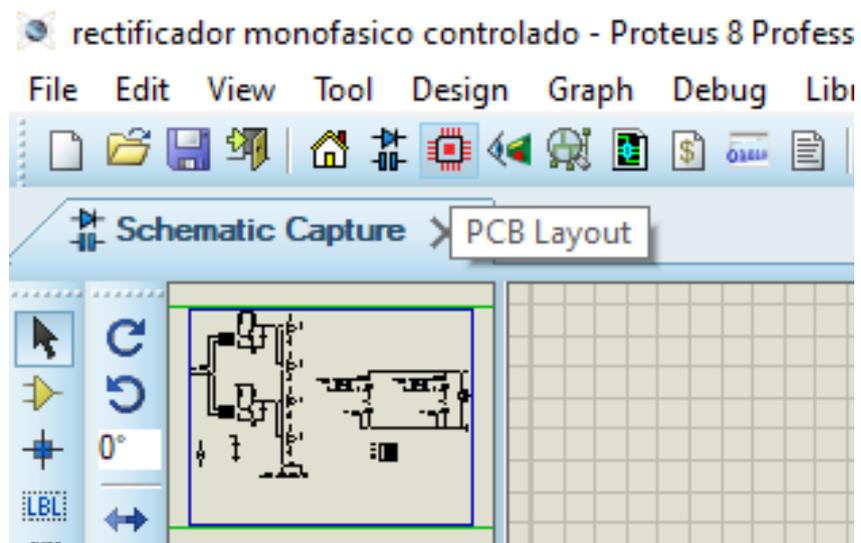
*Circuito de simulación en Proteus*



- Pulsar el comando PCB layout dentro del panel de Proteus

**Figura 27**

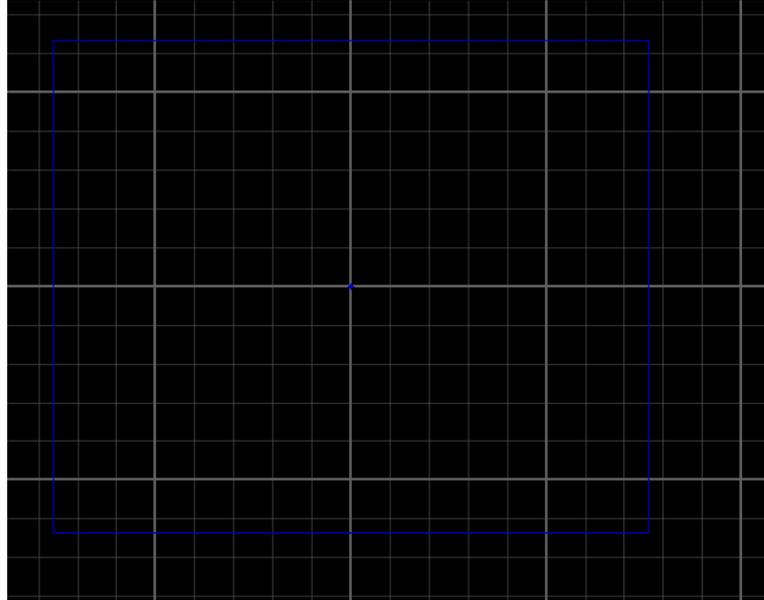
*PCB layout*



- Establecer el área de trabajo donde se realizará el diseño

**Figura 28**

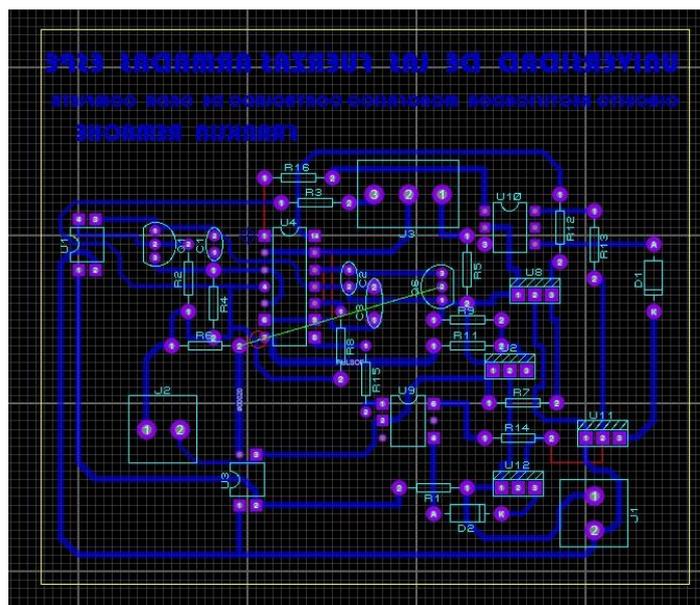
*Área de trabajo de PCB*



- Ubicar los componentes y diseñar el paso de cada uno de los conductores.

**Figura 29**

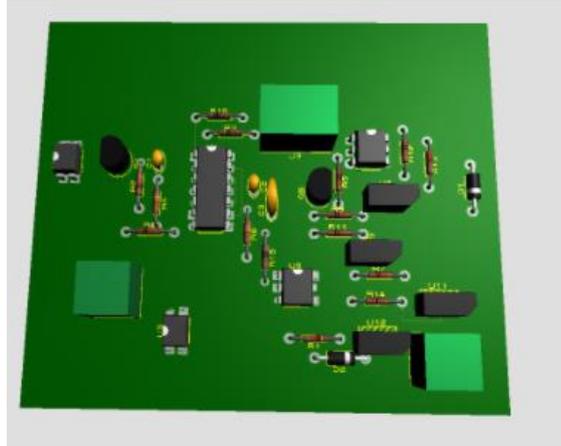
*Componentes y diseño de pistas*



- Revisar si todos los componentes están correctamente ubicados y conectados.

**Figura 30**

*Simulación de cara de componentes*

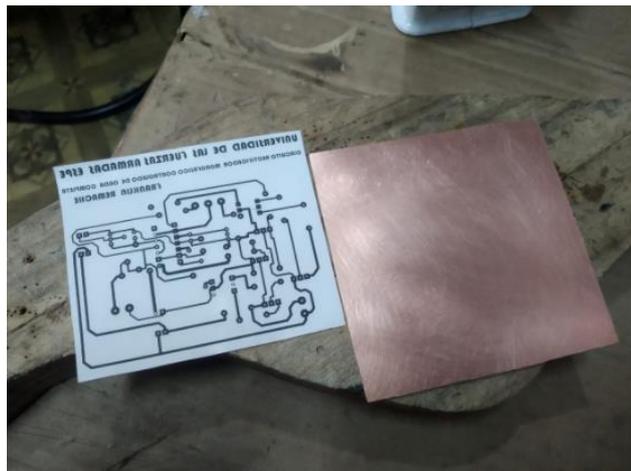


### 3.5.2. Impresión del diseño.

- Se imprimen las pistas en papel fotográfico para adherirlas en una placa de baquelita.

**Figura 31**

*Pistas para impresión*



- Con la ayuda de calor en este caso de una plancha se adhiere la impresión de papel fotográfico a la placa de baquelita.

**Figura 32**

*Aplicación de calor*



- Con ayuda de agua se desprende el papel fotográfico de la baquelita dejando únicamente las pistas sobre la baquelita.

**Figura 33**

*Desprendimiento de papel fotográfico*



- Se sumerge la baquelita dentro de ácido para quemar las pistas y así poder agujerar y soldar.

**Figura 34**

*Pistas quemadas en ácido*

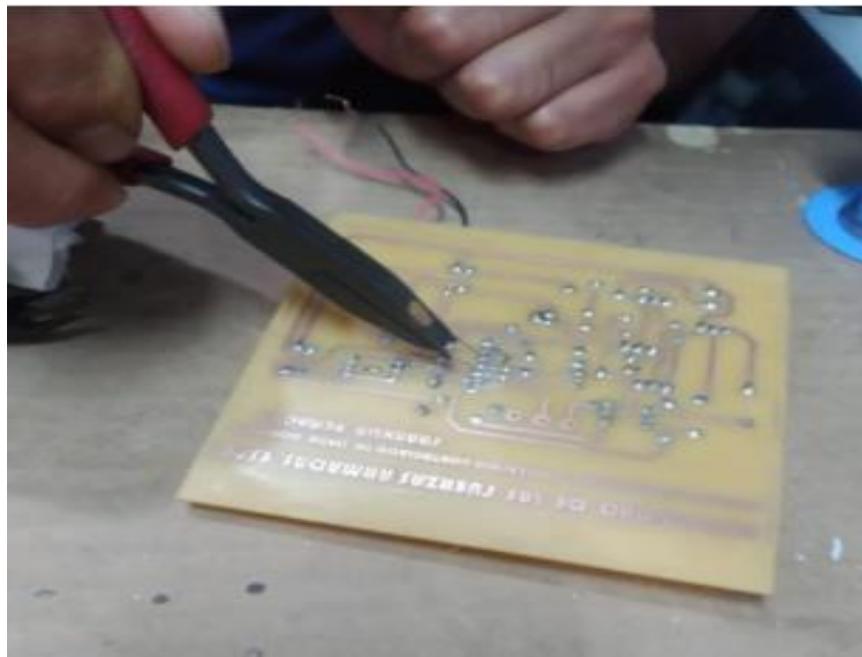


### **3.5.3. Perforado suelda del PCB**

- Una vez quemada la placa se procede a perforar y soldar los componentes.

**Figura 35**

*Soldadura de componentes*

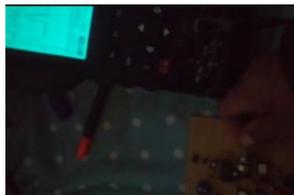


#### **3.5.4. Pruebas del PCB**

Una vez soldado el PCB se procede a realizar Pruebas de continuidad y formas de onda asegurándonos así de un correcto funcionamiento del circuito.

#### **Figura 36**

*Pruebas del PCB impreso*



### **3.6. Implementación del módulo**

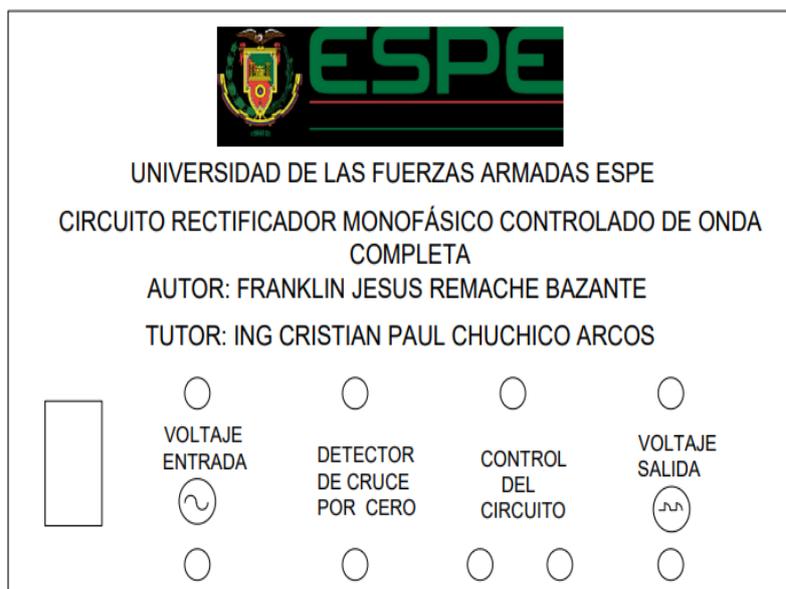
Para la implementación del módulo el acrílico en base a un corte laser se lo encuentra como una de las mejores opciones.

#### **3.6.1. Cara frontal**

El diseño de la cara frontal se lo hizo a través de AutoCAD programa de diseño computarizado, se determinó la ubicación de cada uno de los elementos de medición al igual que el texto de referencia del módulo. (Figura.37)

#### **Figura 37**

*Cara frontal, diseño en AutoCAD*



### 3.6.2. Vectorizado del módulo.

El vectorizado se lo manejo a través del programa Laser Cut:

- Vectorizada cara frontal.

**Figura 38**

*Vectorizado cara frontal*



### 3.6.3. Corte laser

Una vez ingresado el vectorizado se da paso al corte con láser del acrílico. El vectorizado se compone de 2 datos principales; el primero es el corte de la lámina y el segundo el grabado de la lámina. (Figura 42) (Figura 43)

**Figura 39**

*Corte y grabado Laser*



**Figura 40**

*Grabado de texto y corte.*



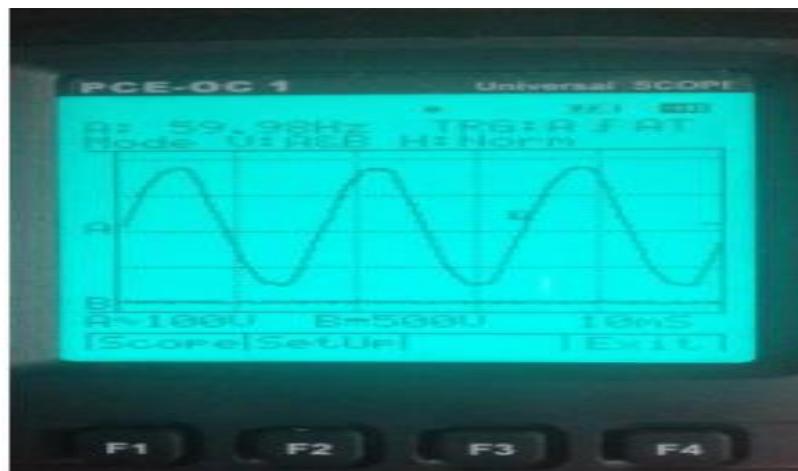
### 3.7. Mediciones y pruebas.

Las mediciones obtenidas del circuito rectificador monofásico controlado de onda completa demuestran que:

- La señal de entrada es totalmente sinusoidal y trabaja a una frecuencia de 60HZ

**Figura 41**

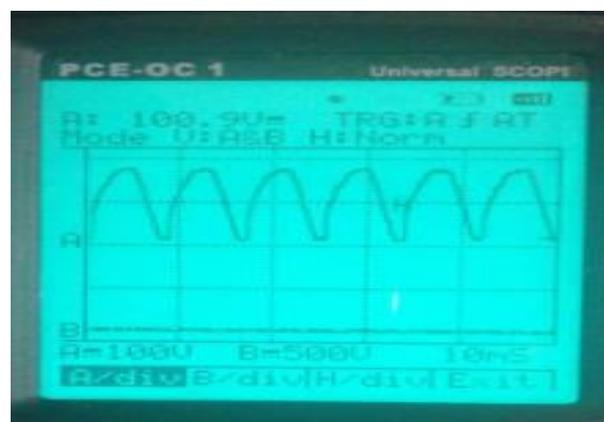
*Forma de onda de alimentación*



- La salida del rectificador es totalmente rectificada y controlada a través del potenciómetro.

**Figura 42**

*Salida rectificada 100.9v*

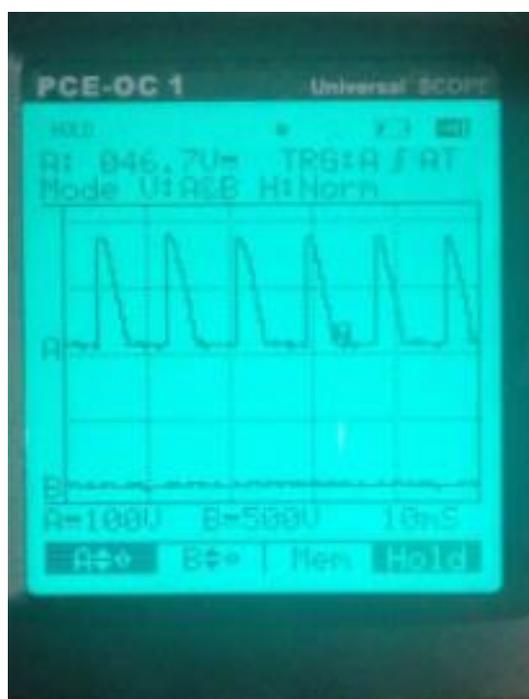


**Figura 43**

Salida rectificada 78.9v

**Figura 44**

Salida rectificada 46.7v



## Capítulo IV

### 4. Conclusiones y Recomendaciones.

#### 4.1. Conclusiones

- Un circuito rectificador monofásico controlado de onda completa basa su funcionamiento en dos etapas bases la primera de potencia con una alimentación de entrada 110VAC la cual está separada de una etapa de control donde a través de optoacopladores que obtienen una señal de cruces por cero que hará que el control implementado en el circuito envíe una señal hacia los SCR's que serán los encargados de rectificar la señal de entrada.
- El sistema de control se ve comandado por distintos subsistemas el primero un detector de cruces por cero que determina cuando la señal alterna de entrada cruza por cero tanto en su semiciclo positivo y su semiciclo negativo, el segundo un subsistema de generación de ancho de pulso encargado de enviar las señales de activación y desactivación de los tiristores para que la onda de entrada sea rectificadas.
- El diseño general de la placa pasa por distintos procesos como son:
  - Emulación del circuito en el programa Proteus que permite apreciar el funcionamiento y conexionado computarizado
  - Creación de pistas para impresión del circuito, desarrolla los conductores y espacios físicos de distribución de los elementos electrónicos presentes en el circuito.
  - Impresión y soldado de elementos electrónicos, distribuye los elementos electrónicos en los espacios físicos determinados.
  - Pruebas y medidas de la placa, mide formas de onda y visualiza la forma de trabajo a través de los osciloscopios.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Antes de operar el módulo tener en cuenta el voltaje de trabajo del mismo.
  
- Para el correcto funcionamiento del módulo rectificador no se debe exceder el voltaje ni las cargas establecidas.
  
- Tener en cuenta la temperatura de trabajo de los SCR's para evitar complicaciones al momento del trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Referencias Bibliográficas

BOYLESTAD, R. L. (2009) Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. México, D.F. : Pearson educación.

Canteli, M. M. (2017). Regulación, control y protección de máquinas eléctricas. Cantabria: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.

CHICAIZA, D. J., & HINOJOSA, M. S. (2019). Diseño y construcción de un convertidor AC/DC controlado de 12 y 24 pulsos y analizador de armónicos a través del pc para el laboratorio de control eléctrico. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

GONZALES, E. P. (QUITO). Factor de potencia en circuitos de control no lineal. 2010: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

JAIRO, R. G. (2018). Rectificador controlado de onda completa. Bogotá, Colombia.

QUINDE, F. F. (2016). Diseño y construcción de un equipo didáctico para el análisis experimental de rectificadores controlados, y sistemas de control de velocidad para motores de corriente continua. Guayaquil.

ROJAS ESPINOZA , F. A., & NIETO PIERUCCINI, C. A. (2007). Diseño e implementación de un rectificador trifásico totalmente controlado con factor de potencia mejorado basado en tecnología CMOS y DSP. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

VARA, J. M. (2017). Modelado, simulación y control de un convertidor de potencia back to back de 5 niveles. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.

**Anexos**