



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**  
**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE RECTIFICACIÓN  
MONOFÁSICA Y TRIFÁSICA PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS  
DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE  
COTOPAXI”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero  
Electromecánico

**Autores**

Alvarado Gómez Fausto Rodrigo

Lema Satuquina Edgar Benito

**Tutor:**

M.Sc. Moreano Martínez Edwin Homero

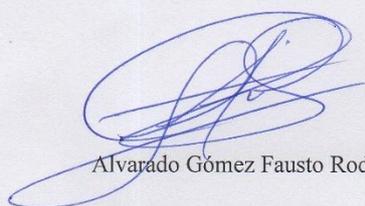
Latacunga – Ecuador

Febrero - 2019

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

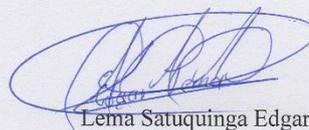
Nosotros, **Alvarado Gómez Fausto Rodrigo y Lema Satuquinga Edgar Benito** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE RECTIFICACIÓN MONOFÁSICA Y TRIFÁSICA PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, siendo M.sc. Moreano Martínez Edwin Homero tutor del presente trabajo, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Alvarado Gómez Fausto Rodrigo

C.I: 172458180-4



Lema Satuquinga Edgar Benito

C.I: 050418044-9

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad del Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE RECTIFICACIÓN MONOFÁSICA Y TRIFÁSICA PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, de **Alvarado Gómez Fausto Rodrigo y Lema Satuquina Edgar Benito**, de la carrera **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la **FACULTAD DE CIENCIA DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS** de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, enero 2019



M.sc. Moreano Martínez Edwin Homero

C.I: 050260750-0

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Alvarado Gómez Fausto Rodrigo y con C.I. 172458180-4 y Lema Satuquinga Edgar Benito con C.I. 050418044-9 con el título de Proyecto de Titulación:

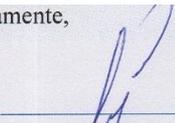
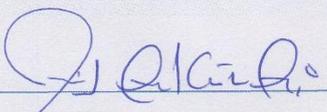
“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE RECTIFICACIÓN MONOFÁSICA Y TRIFÁSICA PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

Considerando las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero 2019

Atentamente,

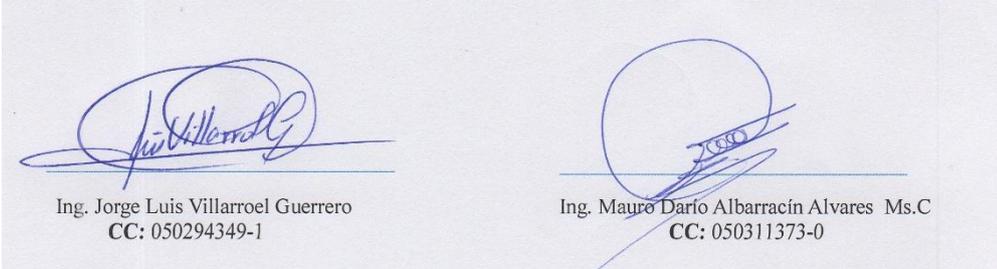
 _____ <b>Lector 1 (Presidente)</b> Ing. Luigi Orlando Freire Martínez Ms.C CC: 050252958-9	 _____ <b>Lector 2</b> Ing. Luis Rolando Cruz Panchi Ms.C CC: 050259517-6
 _____ <b>Lector 3</b> Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas Ms.C CC: 050234776-8	

## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Con el presente documento, se pone en constancia que los estudiantes **Alvarado Gómez Fausto Rodrigo** y **Lema Satuquinga Edgar Benito**, de la carrera de **Ingeniería Electromecánica** de la **Universidad Técnica De Cotopaxi**, ha desarrollado el proyecto de investigación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE RECTIFICACIÓN MONOFÁSICA Y TRIFÁSICA PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”** y realizaron la entrega del módulo para el laboratorio de electrónica de potencia cumpliendo así los objetivos propuestos al inicio del desarrollo del proyecto.

Sin otro particular autorizo para que usen el presente documento para cualquier fin legal pertinente de la Universidad.

Latacunga, febrero 2019



Ing. Jorge Luis Villarroel Guerrero  
CC: 050294349-1

Ing. Mauro Dario Albarracín Alvares Ms.C  
CC: 050311373-0

## **DEDICATORIA**

Mi agradecimiento por todo en primera a Dios, a mis padres y a toda mi familia. A mi madre por cuidar siempre de mí y estar al pendiente de mis problemas, a mi padre por enseñarme que jamás existe cosa que no puedas realizar y a luchar por mis metas, a mi esposa por todo su amor, su paciencia y ser ese apoyo más en mi vida. A mi hijo por convertirse en mi fuerza para luchar día a día.

A mis suegros, tíos y tías por estar siempre al pendiente de mí y apoyarme cuando los he necesitado.

***ALVARADO FAUSTO***

## **DEDICATORIA**

Agradezco a Dios por guiarme en cada momento de mi vida y mostrarme que con humildad y perseverancia todo es posible. A mis padres por su amor incondicional y su apoyo constante ya que gracias a ellos soy quien soy hoy día, fueron ellos los que han velado por mi salud, estudios, educación, entre muchos otros.

También agradezco a mis amigos más cercanos, a esos que siempre me han acompañado y con los cuales he contado desde que les conocí y de manera especial y sincera agradezco al Ing. Edwin Moreano Director de Tesis, quien con su sabiduría y capacidad para guiar ha sido un aporte invaluable en el desarrollo y culminación de esta tesis.

***LEMA EDGAR***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi Dios por la salud y fuerza que me ha dado para luchar por mis sueños y también le agradezco a la universidad por abrirme las puertas y permitirme cumplir con el sueño de ser un profesional y a todos mis amigos que hice en el transcurso de estos años, por todos los momentos compartidos y vividos.

Y un agradecimiento muy especial al Ing. Edwin Moreano por todo su apoyo y paciencia para la culminación exitosa de esta tesis.

***ALVARADO FAUSTO***

## **AGRADECIMIENTO**

El esfuerzo alcanzado en el presente trabajo se la dedico a mi Dios quién supo darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, para mis padres Gabriel y Zoila que me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos., mi hermana Elizabeth por el apoyo que me brinda cada día, a Alexander mi hermano por estar siempre presente y como olvidar a mi familia quienes por ellos he cumplido mi meta.

***LEMA EDGAR***



## ÍNDICE GENERAL

<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....</b>	<b>iv</b>
<b>AVAL DE IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>xviii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xxii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xxvi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxvii</b>
<b>AVAL DE TRADUCCIÓN.....</b>	<b>xxviii</b>
<b>1. INFORMACIÓN BÁSICA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. TIPO DE PROPUESTA ALCANCE.....</b>	<b>3</b>
<b>2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN.....</b>	<b>4</b>
2.5.1. Objeto de estudio .....	4
2.5.2. Campo de acción.....	4
<b>2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
2.6.1. Situación problemática .....	4
2.6.2. Problema .....	5
2.6.3. Causa y efecto: .....	5
<b>2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DIRECTRICES .....</b>	<b>5</b>
<b>2.8. OBJETIVO(S).....</b>	<b>5</b>
2.8.1. Objetivo general.....	5
2.8.2. Objetivos específicos .....	5
<b>2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS .....</b>	<b>6</b>
<b>3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA .....</b>	<b>8</b>
3.1. Antecedentes Investigativos. ....	8
3.2. Electrónica de Potencia.....	8



3.2.1.	Historia de la Electrónica de Potencia.....	8
3.2.2.	Definiciones.....	9
3.3.	Corriente alterna y corriente continua.....	10
3.3.1.	Generación trifásica.....	11
3.4.	Rectificadores.....	11
3.4.1.	Rectificador monofásico de onda completa.....	12
3.4.1.	Rectificador trifásico no controlado.....	12
3.4.2.	Rectificador trifásico controlado.....	13
3.5.	Elementos de potencia de los rectificadores.....	14
3.5.1.	Diodo.....	14
3.5.2.	Tiristores.....	16
3.5.3.	Modulación de anchos de pulsos (PWM).....	21
3.5.4.	Control por PWM.....	22
3.5.5.	Resistores.....	24
3.5.6.	Capacitores.....	24
3.5.7.	Inductores.....	26
3.6.	Circuitos recortadores de onda.....	27
3.6.2.	Recortadores De Diodos.....	28
3.7.	Cables de conexión.....	29
3.7.2.	Definición de cables de conexión eléctricos.....	29
3.7.3.	Conexión.....	30
3.7.4.	Seguridad del conector.....	30
3.8.	Fuentes de alimentación.....	30
3.9.	Osciloscopio.....	32
3.9.2.	Funcionamiento de osciloscopio.....	32
3.9.3.	Términos utilizados al medir.....	34
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>35</b>
4.1.	Enfoque de la investigación.....	35
4.2.	Métodos de la Investigación.....	35
4.2.1.	Método Deductivo.....	35
4.2.2.	Método Inductivo.....	35
4.2.3.	Método matemático.....	35
4.2.4.	Método empírico.....	36
4.3.	Cuadro de operación de variables.....	36
4.4.	Técnicas.....	36



4.5.	Instrumentos.....	36
4.5.1.	Software Proteus.....	37
4.6.	Criterios para la selección de materiales.....	37
4.6.1.	Rectificación monofásica no controlada.....	38
4.7.	Análisis de rectificadores trifásicos. ....	43
4.7.1.	Corriente alterna. ....	43
4.7.2.	Generación trifásica.....	44
4.7.3.	Rectificador trifásico totalmente controlado. ....	45
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....</b>	<b>48</b>
5.1.	Fases del proyecto.....	48
5.1.1.	Resistencia de carga mínima. ....	48
5.1.2.	Tensión Y Corriente De Salida.....	49
5.2.	Selección De Semiconductores.....	51
5.2.1.	Diodos.....	51
5.2.2.	SCRs.....	52
5.2.3.	Selección de los elementos de la etapa de control.....	54
5.2.4.	Pic 16F877A.....	55
5.4.	Pruebas realizadas.....	62
5.4.1.	Simulación rectificadora monofásica. ....	62
5.4.2.	Simulación rectificadora trifásico tipo puente.....	63
5.4.3.	Circuito de potencia para rectificador monofásico totalmente controlado.....	64
5.4.4.	Implementación rectificadora Trifásico tipo puente.....	66
5.4.5.	Simulación rectificadora trifásico tipo puente controlado.....	67
5.4.6.	Implementación rectificadora trifásico tipo puente controlado.....	68
5.5.	Análisis De Las Pruebas Realizadas.....	69
<b>6.</b>	<b>PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO. ....</b>	<b>69</b>
6.1.	Presupuesto. ....	69
6.1.1.	Costos directos.....	70
6.1.2.	Costos indirectos. ....	72
6.1.3.	Costo total.....	73
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
7.1.	Conclusiones.....	74
7.2.	Recomendaciones .....	75
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>79</b>



ANEXO I. Cuadro de operación de variables.....	80
ANEXO II. Catalogo para selección de cables.....	81
ANEXO III: Catalogo de los diodos.....	82
ANEXO IV: Catalogo de los tiristores .....	83
ANEXO V: Catalogo de los optpasiladores.....	84
ANEXO VI: Valores comerciales de las resistencias .....	87
ANEXO VII: Programacion del pic .....	88
ANEXO VIII: Manual De Operación y Mantenimiento .....	90
<b>PLANOS</b> .....	<b>91</b>
<b>PRÁCTICAS</b> .....	<b>92</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Beneficiarios del proyecto.....	4
<b>Tabla 2.2.</b> Sistema de actividades por objetivos.....	6
<b>Tabla 5.1.</b> Características eléctricas.....	50
<b>Tabla 5.2.</b> Parámetros de selección de los semiconductores.....	54
<b>Tabla 5.3.</b> Lista de diodos consultados.....	55
<b>Tabla 5.4.</b> Características eléctricas y térmicas diodo 6A10.....	56
<b>Tabla 5.5.</b> Lista de SCRs consultados.....	56
<b>Tabla 5.6.</b> Características eléctricas y térmicas del SCR IR-10RIA60.....	57
<b>Tabla 5.7.</b> Parámetros para la simulación del rectificador Trifásico de media onda con carga R.....	60
<b>Tabla 5.8.</b> Valores obtenidos de la simulación del rectificador trifásico de onda completa con carga R.....	61
<b>Tabla 5.9.</b> Datos obtenidos para el rectificador trifásico de onda completa con carga R tanto en simulación como de forma experimental.....	62
<b>Tabla 5.10.</b> Valores obtenidos de la simulación del rectificador trifásico de onda completa con carga R.....	65
<b>Tabla 5.11.</b> Datos obtenidos para el rectificador trifásico tipo puente controlado.....	65
<b>Tabla 5.12.</b> Error máximo en las mediciones de corriente y tensión.....	66
<b>Tabla 6.1.</b> Elemento de potencia.....	67
<b>Tabla 6.2.</b> Accesorios de montaje.....	68
<b>Tabla 6.3.</b> Banco de prueba.....	69
<b>Tabla 6.4.</b> Costos Indirectos.....	69
<b>Tabla 6.5.</b> Costo directo e indirecto.....	70



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Representación gráfica de la tensión frente al tiempo en CC.....	10
<b>Figura 3.2.</b> Representación gráfica de la tensión frente al tiempo en CA.....	10
<b>Figura 3.3.</b> Representación gráfica del sistema de tensiones trifásico equilibrado.....	11
<b>Figura 3.4.</b> Circuito del rectificador monofásico de media onda.....	11
<b>Figura 3.5.</b> Rectificador de onda completa.....	12
<b>Figura 3.6.</b> Circuito del rectificador trifásico no controlado.....	13
<b>Figura 3.7.</b> Circuito del rectificador trifásico controlado.....	14
<b>Figura 3.8.</b> Diodo: símbolo, característica i-v, característica idealizada.....	15
<b>Figura 3.9.</b> Símbolo del tiristor y tres uniones pn.....	16
<b>Figura 3.10.</b> Tiristor de compuerta amplificadora.....	18
<b>Figura 3.11.</b> Equivalente y símbolo del TRIAC.....	19
<b>Figura 3.12.</b> Equivalente del tiristor GTO.....	20
<b>Figura 3.13.</b> Comportamiento del encendido y apagado del GTO.....	21
<b>Figura 3.14.</b> Señal de salida de pulsos altos y bajos de la PWM.....	22
<b>Figura 3.15.</b> Control de la PWM.....	22
<b>Figura 3.16.</b> Patrón PWM y su voltaje modulador fundamental V <sub>MOD</sub> .....	23
<b>Figura 3.17.</b> Resistor.....	24
<b>Figura 3.18.</b> Elemento capacitivo de 8 $\mu$ f a 60V.....	25
<b>Figura 3.19.</b> Modelo equivalente del inductor.....	26
<b>Figura 3.20.</b> Recortador tipo serie.....	28
<b>Figura 3.21.</b> Recortador por debajo.....	28
<b>Figura 3.22.</b> Recortador por encima.....	28
<b>Figura 3.23.</b> Doble recortador de diodos.....	29
<b>Figura 3.24.</b> Cable de conexión eléctrico.....	30
<b>Figura 3.25.</b> Fuente de alimentación.....	31
<b>Figura 3.26.</b> Principio de funcionamiento del osciloscopio analógico.....	33
<b>Figura 3.27.</b> Principio de funcionamiento del osciloscopio analógico.....	34
<b>Figura 4.1.</b> Circuito rectificador de media onda.....	39
<b>Figura 4.2.</b> Rectificador de onda completa.....	40



<b>Figura 4.3.</b> Visualización de las ondas del rectificador monofásico.....	41
<b>Figura 4.4.</b> Circuito de aplicación.....	41
<b>Figura 4.5.</b> Seguimiento en la senoide en el rectificador.....	42
<b>Figura 4.6.</b> Rectificador en puente.....	43
<b>Figura 4.7.</b> Trayectoria de la corriente semiciclo positivo.....	43
<b>Figura 4.8.</b> Trayectoria de corriente semiciclo negativo.....	44
<b>Figura 4.9.</b> Formas de onda de salida del rectificador.....	44
<b>Figura 4.10.</b> Onda sinusoidal trifásica.....	46
<b>Figura 4.11.</b> Diagrama esquemático del rectificador trifásico.....	46
<b>Figura 4.12.</b> Circuito rectificador trifásico.....	47
<b>Figura 4.13.</b> Formas de onda del puente rectificador trifásico controlado.....	47
<b>Figura 5.1.</b> Rectificador monofásico de onda completa.....	51
<b>Figura 5.2.</b> Formas de onda del rectificador monofásico de onda completa.....	52
<b>Figura 5.3.</b> Rectificador trifásico de onda completa tipo puente.....	53
<b>Figura 5.4.</b> Formas de onda de corriente y tensión de puente rectificador trifásico.....	54
<b>Figura 5.5.</b> Placa de circuito de control.....	58
<b>Figura 5.6:</b> Caja metálica para el desarrollo del módulo.....	57
<b>Figura 5.7:</b> Perforación para la instalación de las borneras.....	58
<b>Figura 5.8:</b> Instalación de las borneras.....	58
<b>Figura 5.9:</b> Vista del panel frontal con borneras.....	59
<b>Figura 5.10:</b> Vista final del panel frontal.....	60
<b>Figura 5.11:</b> Distribución de los diodos.....	61
<b>Figura 5.12:</b> Distribución de los SCRs.....	62
<b>Figura 5.13:</b> Banco de diodos para rectificación monofásica no controlada.....	62
<b>Figura 5.14:</b> Simulación del rectificador monofásico no controlado.....	62
<b>Figura 5.8:</b> Banco de diodos del rectificador Trifásico.....	63
<b>Figura 5.15:</b> Simulación del rectificador trifásico con el osciloscopio.....	63



<b>Figura 5.16:</b> Circuito de control para el rectificador monofásico.....	64
<b>Figura 5.17:</b> Gráfica de las ondas del circuito.....	65
<b>Figura 5.18:</b> Forma de onda de voltaje en la carga del rectificador medida con el osciloscopio.....	65
<b>Figura 5.19:</b> Diagrama esquemático del puente rectificador trifásico controlado.....	66
<b>Figura 5.120:</b> Formas de onda rectificador trifásico controlado en el osciloscopio.....	67



## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TITULO:** “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE RECTIFICACIÓN MONOFÁSICA Y TRIFÁSICA PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

**Autores:**

Alvarado Gómez Fausto Rodrigo

Lema Satuquina Edgar Benito

### RESUMEN

El estudio de la electrónica de potencia es de gran importancia para el avance tecnológico ya que permite aplicar la conversión de la energía eléctrica en diversas aplicaciones. Mediante los elementos semiconductores se logra manipular la energía eléctrica en sus distintas conversiones, utilizando y aprovechando este principio para la creación e innovación de nueva tecnología. La falta de equipo para el laboratorio de electrónica de potencia de la carrera de Ingeniería Electromecánica en la Universidad Técnica De Cotopaxi no permite a los estudiantes visualizar en tiempo real las formas de onda y magnitudes eléctricas en sistemas monofásicos y trifásicos, por lo que el presente proyecto está enfocado en la implementación de un módulo didáctico de rectificación monofásica y trifásica para la visualización de las magnitudes eléctricas y formas de onda de los elementos semiconductores en tiempo real, mediante el análisis matemático y diseño de los circuitos con la ayuda de un software. Para iniciar con la construcción del módulo lo primero fue establecer los parámetros de voltaje, corriente y resistencia que se va a manipular y posteriormente comenzar de ahí a calcular y seleccionar los elementos semiconductores que cumplan con los parámetros deseados. Se utilizó el software PROTEUS para simular los circuitos realizados y comprobar su adecuado funcionamiento, los diodos de potencia seleccionados fueron 6A10 para el circuito no controlado y el Scr BT151 para el circuito controlado ya que cumplen con las características deseadas. Finalmente se procedió a las pruebas de funcionamiento y observación de las magnitudes eléctricas en tiempo real, para proceder a la verificación y comparación entre la simulación y los circuitos del módulo. Concluyendo que al realizar la rectificación de ondas electricas tanto monofásica como trifásica, el modulo siempre tiene un pequeño margen de diferencia de medición en comparación con la simulación, debido al consumo eléctrico que tienen los elementos semiconductores.

**Palabras claves:** Electrónica de potencia, rectificación controlada y no controlada, semiconductores, formas de onda.



## TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

### FACULTY OF SCIENCES OF THE ENGINEERING AND APLLIED

**TOPIC:** "IMPLEMENTATION OF A DIPATIC MODULE OF SINGLE-PHASE AND THREE-PHASE RECTIFICATION FOR THE DEVELOPMENT OF POWER ELECTRONICS PRACTICES AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI"

**Authors:**

Alvarado Gómez Fausto Rodrigo

Lema Satuquinga Edgar Benito

### ABSTRACT

The study of power electronics is of great importance for technological advancement since it allows applying the conversion of electrical energy in various applications. By means of the semiconductor elements it is possible to manipulate the electrical energy in its different conversions, using and taking advantage of this principle for the creation and innovation of new technology. The lack of equipment for the power electronics laboratory of the Electromechanical Engineering career at the Technical University of Cotopaxi does not allow students to visualize in real time the waveforms and electrical magnitudes in single and three phase systems, so that the present project is focused on the implementation of a didactic module of single phase and three phase rectification for the visualization of the electrical magnitudes and waveforms of the semiconductor elements in real time, through mathematical analysis and circuit design with the help of software. To start with the construction of the module, the first thing was to establish the parameters of voltage, current and resistance to be manipulated and then start from there to calculate and select the semiconductor elements that meet the desired parameters. The PROTEUS software was used to simulate the circuits carried out and to verify their proper functioning, the selected power diodes were 6A10 for the uncontrolled circuit and the Scr BT151 for the controlled circuit since they fulfill the desired characteristics. Finally, the operation and observation tests of the electrical magnitudes were carried out in real time, to proceed to the verification and comparison between the simulation and the module circuits. Concluding that when performing the rectification of both single-phase and three-phase electric waves, the module always has a small margin of measurement difference compared to the simulation, due to the electrical consumption of the semiconductor elements.

**Keywords:** Power electronics, controlled and uncontrolled rectification, semiconductors, waveforms.



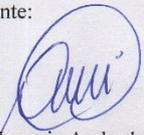
## AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del Proyecto de Titulación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas , **Alvarado Gómez Fausto Rodrigo y Lema Satuquina Edgar Benito**, cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE RECTIFICACIÓN MONOFÁSICA Y TRIFÁSICA PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Febrero 2019.

Atentamente:



Lic. José Ignacio Andrade Moran  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS  
CC: 050310104-0



CENTRO  
DE IDIOMAS

www.utc.edu.ec

Av. Simón Rodríguez s/n Barrio El Ejido / San Felipe. Tel: (03) 2252346 - 2252307 - 2252205



## 1. INFORMACIÓN BÁSICA

### Propuesto por:

Alvarado Gómez Fausto Rodrigo

Lema Satuquinga Edgar Benito

### Tema aprobado:

Diseño e implementación de un módulo didáctico de rectificación monofásica y trifásica para el laboratorio de electrónica de potencia.

### Carrera:

Ingeniería Electromecánica.

### Director de la propuesta tecnológica:

Ms.C. Moreano Martínez Edwin Homero

### Equipo de trabajo:

#### Tutor:

Nombres: Edwin Homero

Apellidos: Moreano Martínez

Cedula de identidad: 050260750-0

Correo electrónico: edwin.moreano@utc.edu.ec

#### Coordinador 1:

Nombre: Alvarado Gómez Fausto Rodrigo

Cédula de Ciudadanía: 172458180-4

Correo electrónico: fausto.alvarado4@utc.edu.ec

Dirección: Parroquia Aglomerados, Saquisilí, Cotopaxi.



### **Coordinador 2:**

Nombre: Lema Satuquina Edgar Benito  
Cédula de Ciudadanía: 050418044-9  
Correo electrónico: edgar.lema9@utc.edu.ec  
Dirección: Parroquia San miguel, Salcedo, Cotopaxi

### **Lugar de ejecución:**

(Sierra Centro, Cotopaxi, Latacunga, San Felipe, Laboratorio de Electrónica De Potencia de la Universidad Técnica De Cotopaxi)

### **Tiempo de duración de la propuesta:**

La duración de la propuesta tecnológica se estipula 2 semestres, en el primer semestre consiste en la investigación bibliográfica en busca de la mejor alternativa para el desarrollo de la propuesta, siendo culminado la segunda parte practica con el diseño y la implementación del módulo didáctico de electrónica de potencia.

### **Tiempo de duración del proyecto**

2018 - 2019

### **Fecha de entrega:**

Febrero 2019

### **Línea De Investigación**

De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la línea de investigación del presente proyecto es procesos industriales.

### **Sublíneas de investigación:**

Sublínea de investigación 2: Automatización, Control Y Protecciones De Sistemas Electromecánicos



### **Tipo de propuesta tecnológica:**

Se trata del desarrollo de un módulo didáctico de rectificación para que los estudiantes de la Universidad Técnica De Cotopaxi especialmente en la asignatura de electrónica de potencia que permita a los alumnos interactuar de manera real con el modulo y visualizar las formas de onda y magnitudes eléctricas.

## **2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Diseño e implementación de un módulo didáctico de rectificación monofásica y trifásica para el laboratorio de electrónica de potencia

### **2.2. TIPO DE PROPUESTA ALCANCE**

#### **Desarrollo**

Los rectificadores de corriente son empleados extensamente a nivel industrial, lo que lleva a que sea un área importante en el estudio de la electrónica de potencia y crea la necesidad de comprender el funcionamiento del mismo, y la forma de implementar uno de ellos.

El módulo de rectificación monofásica y trifásica su diseño e implementación se desarrolla con el fin de contribuir en una herramienta que ayude, a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica puedan interactuar con el dispositivo y visualizar las formas de onda y magnitudes eléctricas, en un entorno real.

### **2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO**

Según las normas CINE – UNESCO el área de conocimiento es Ingeniería, industria y construcción.

### **2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Actualmente la electrónica de potencia ocupa un lugar importante en la tecnología moderna y se utiliza en una gran variedad de equipos entre los que se encuentran los controles de calefacción, controles de iluminación, controles de motor, fuentes de alimentación, sistemas de propulsión de vehículos eléctricos y sistemas de corriente directa de alto voltaje. La relevancia

de esta disciplina en la vida moderna ha provocado que hoy en día la electrónica de potencia forme parte integral de la mayoría de currículos de instituciones de educación superior (IES) que ofrecen programas académicos en el campo de la ingeniería eléctrica, la ingeniería electrónica y áreas afines.

El presente proyecto es un módulo didáctico de electrónica de potencia para rectificación monofásica y trifásica, que su implementación, diseño y construcción para el laboratorio de electrónica de potencia de la Universidad Técnica de Cotopaxi, permita a los docentes y estudiantes visualizar en tiempo real las formas y magnitudes de ondas eléctricas.

**Tabla 2.1.** Beneficiarios del proyecto

<b>Directos</b>	Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica
<b>Indirectos</b>	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**Realizado por:** Autores

## **2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.5.1. Objeto de estudio**

Visualización de las formas y magnitudes de ondas eléctricas monofásica y trifásica controladas y no controladas utilizando elementos semiconductores.

### **2.5.2. Campo de acción**

Visualizar en tiempo real las formas y magnitudes de ondas eléctricas.

## **2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA**

### **2.6.1. Situación problemática**

Actualmente el laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica De Cotopaxi, cuenta con pocas herramientas prácticas que permitan a los estudiantes de la asignatura de electrónica de potencia, realizar sus prácticas en el laboratorio utilizando simuladores de circuitos para comprobar los conceptos teóricos proporcionados en la asignatura.

Se pretende, al realizar este proyecto contribuir al mejoramiento del laboratorio de la asignatura de electrónica de potencia y que el estudiante tenga medios más adecuados para

afianzar lo teórico, visualizando en tiempo real las magnitudes eléctricas de los elementos semiconductores.

### 2.6.2. Problema

La falta de equipo para el laboratorio de Ingeniería Electromecánica para la asignatura de Electrónica de Potencia en la Universidad Técnica De Cotopaxi no permite a los estudiantes visualizar en tiempo real, las formas de ondas y magnitudes eléctricas en sistemas monofásicos y trifásicos controlados y no controlados de los elementos semiconductores.

### 2.6.3. Causa y efecto:

- **Causa:** Falta de equipo para el laboratorio de electrónica de potencia.
- **Efecto:** No poder visualizar en tiempo real formas de onda y magnitudes eléctricas.

## 2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DIRECTRICES

Con la implementación del módulo didáctico se podrá visualizar las magnitudes eléctricas en tiempo real en la asignatura de electrónica de potencia de la Universidad Técnica De Cotopaxi.

## 2.8. OBJETIVO(S)

### 2.8.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un módulo didáctico de Electrónica de Potencia de rectificación monofásica y trifásica controlada y no controlada mediante la utilización de la tecnología existente en el mercado para la visualización de las magnitudes eléctricas y formas de onda de los elementos semiconductores.

### 2.8.2. Objetivos específicos

- Revisar la bibliografía y desarrollo de módulos con características similares a este.
- Diseñar los circuitos de rectificación monofásica y trifásica controlada y no controlada en el simulador Proteus.
- Determinar los elementos y materiales necesarios para la construcción del módulo didáctico de electrónica de potencia y la visualización correcta de las magnitudes eléctricas y formas de onda.
- Implementar el módulo didáctico de rectificación monofásica y trifásica controlada y no controlada para la visualización en tiempo real de las magnitudes eléctricas.



## 2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Tabla 2.2. Sistema de actividades por objetivos

Objetivos planteados	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la metodología
Revisar la bibliografía y desarrollo de módulos con características similares a este.	Recopilar información necesaria de distintas fuentes acerca de rectificación monofásica y trifásica.	Módulos didácticos con diversas características en el mercado.	Investigación bibliográfica
Diseñar los circuitos de rectificación monofásica y trifásica en el simulador Proteus.	Realizar el diseño electrónico y simulación de los circuitos que integran el módulo de potencia con sus respectivas protecciones utilizando el simulador Proteus.	Diagrama de los circuitos de rectificación monofásica y trifásica con sus respectivas protecciones.	Investigación bibliográfica. Investigación de campo.
Determinar los elementos y materiales necesarios para la construcción del módulo didáctico de electrónica de potencia y la visualización correcta de las	Comprobar el adecuado funcionamiento del módulo de potencia con los elementos que se puede encontrar en el mercado.	Cálculos y simulaciones adecuadas para la construcción del módulo.	Investigación bibliográfica. Investigación de campo.



magnitudes eléctricas y la forma de ondas de los elementos semiconductores.	Elaborar el análisis financiero del proyecto.	Cotización de cada uno de los elementos que se utiliza en el módulo de Electrónica de Potencia.	Investigación de campo.
	Elaborar un manual didáctico de las prácticas propuestas.	Para las respectivas prácticas se redacta el respectivo manual.	Investigación bibliográfica. Investigación de campo
Implementar el módulo didáctico de rectificación trifásica y monofásica.	Diseñar y ensamblar, un circuito rectificador monofásico y trifásico controlado y no controlado, con sus respectivas especificaciones técnicas, cálculos y recomendaciones.	Comprobado que la simulación cumpla con lo establecido, ensamblar los circuitos.	Investigación de campo. Investigación bibliográfica.
	Ensamblar, un circuito de protección para el sistema en general (sobre todo en la parte de potencia), para posibles cortocircuitos o sobrecargas eléctricas, con sus respectivas especificaciones técnicas, cálculos y recomendaciones.	Todos los sistemas de protección se implementarán en el módulo para proteger a todo el sistema de posibles daños al que estar expuesto.	Las protecciones son de gran importancia para proteger la vida útil de los elementos más sensibles que integran el módulo.

### **3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA**

#### **3.1. Antecedentes Investigativos.**

Revisados los archivos de la Escuela Politécnica Nacional, se encontró el tema “Construcción de un módulo didáctico para el control electrónico de potencia utilizando un GTO”, el cual consiste en el diseño e implementación de un módulo didáctico para el laboratorio de Electrónica, el mismo que permite controlar la potencia suministrada en una carga mediante el tiristor GTO (Gate Turn-Off). [1]

La finalidad de este proyecto es realizar el diseño y construcción de un módulo didáctico para el Laboratorio de Electrónica, el mismo que permitirá la visualización de las magnitudes eléctricas, permitiendo a los estudiantes interactuar y comprender de una forma más sencilla el funcionamiento del tiristor.

La presente investigación para la elaboración y aplicación de módulos electrónicos de potencia básica con su respectivo manual de prácticas para el laboratorio de electrónica, permitirá a los alumnos de la facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; analizar las formas de onda y las magnitudes eléctricas de cada uno de los dispositivos electrónicos.

No hay duda de que la energía eléctrica constituye la fuente básica de energía de los sistemas electrónicos. Sin embargo, esta energía no se produce ni se consume de una forma unificada, está disponible con diferentes formatos: corriente continua, alterna; de forma monofásica o trifásica.

#### **3.2. Electrónica de Potencia.**

##### **3.2.1. Historia de la Electrónica de Potencia.**

La historia de la electrónica de potencia se inicia en 1900 con la introducción del rectificador de arco de mercurio. Después se introdujeron en forma gradual el rectificador de tanque metálico, el de tubo al vacío controlado por la rejilla, el ignitrón, el fanotrón y el tiratrón. Estos dispositivos se aplicaban para el control de potencia hasta la década de 1950.

La primera revolución electrónica comenzó en 1948, con la invención del transistor de silicio en los Bell Telephone Laboratories, por Bardeen, Brattain y Schockley. La mayor parte de las

tecnologías modernas de electrónica avanzada se pueden rastrear a partir de ese invento. La micro electrónica moderna ha evolucionado a través de los años a partir de los semiconductores de silicio. El siguiente adelanto, en 1956, también fue logrado en los Bell Laboratories, o sea la invención del transistor de disparo PNP, que se definió como tiristor, o rectificador controlado de silicio (SCR).

La segunda revolución electrónica comenzó en 1958, con el desarrollo del tiristor comercial, por el General Electric Company. Fue el principio de una nueva era de la electrónica de potencia.

Desde entonces se han introducido muchas clases distintas de dispositivos semiconductores de potencia y de técnicas de conversión. La revolución microelectrónica nos permitió tener la capacidad de procesar una cantidad gigantesca de información con una rapidez increíble. La revolución en la electrónica de potencia nos está permitiendo conformar y controlar grandes cantidades de potencia con una eficiencia siempre creciente.

Debido al enlace entre la electrónica de potencia, el músculo, con la microelectrónica, el cerebro, están surgiendo hoy muchas aplicaciones potenciales de la electrónica de potencia, y esta tendencia va a continuar. Dentro de los siguientes 30 años, la electrónica de potencia conformará y acondicionará la electricidad en algún lugar de la red de transmisión entre su generación y todos los usuarios. La revolución de la electrónica de potencia ha adquirido impulso desde fines de la década de 1980 y a principios de 1990. [2]

### **3.2.2. Definiciones.**

“La expresión electrónica de potencia se utiliza para diferenciar el tipo de aplicación que se les da a dispositivos electrónicos, en este caso para transformar y controlar voltajes y corrientes de niveles significativos. Se diferencia así este tipo de aplicación de otras de la electrónica denominadas de baja potencia o también de corrientes débiles.” [3]

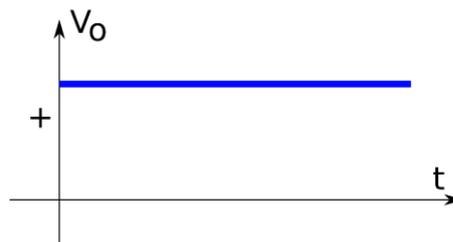
“Se denomina electrónica de potencia a la rama de la ingeniería eléctrica que consigue adaptar y transformar la electricidad, con la finalidad de alimentar otros equipos, transportar energía, controlar el funcionamiento de máquinas eléctricas.” [4]

“Se define la electrónica de potencia como las aplicaciones de la electrónica de estado sólido para el control y la conversión de la energía eléctrica.” [5]

Entonces puedo considerar que la electrónica de potencia es la que se encarga del estudio de los dispositivos semiconductores, circuitos, procedimientos electrónicos que son utilizados para modificar las características de la energía eléctrica y utilizarlas a nuestra conveniencia.

### 3.3. Corriente alterna y corriente continúa.

La corriente continua es aquella no varía con el tiempo, es decir, el flujo de corriente es constante entre dos puntos con diferente potencial Figura 3.1. Se caracteriza principalmente por su valor de tensión (V) y de corriente (I).



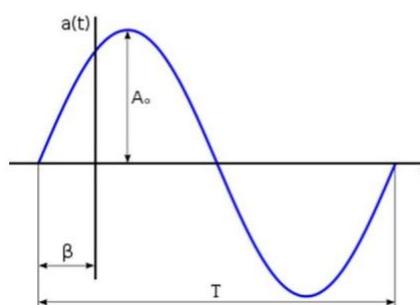
**Figura 3.1:** Representación gráfica de la tensión frente al tiempo en CC

**Fuente:** [6]

Por otro lado, la corriente alterna es aquella que varía con el tiempo y se repite de forma periódica figura 3.2. Los parámetros que caracterizan la corriente alterna son:

- **Amplitud:** valor de tensión o corriente instantáneos ( $V(t)$ ,  $I(t)$ )
- **Período:** duración temporal de cada ciclo ( $T$ )
- **Frecuencia:** número de ciclos por segundo ( $f = 1/T$ )
- **Pulsación:** se define como  $\omega = 2\pi f$
- **Fase:** desplazamiento angular de la señal respecto del origen de ángulos ( $\phi$ ). [6]

Además, se emplean otros valores para cuantificar tensiones y corrientes que son:

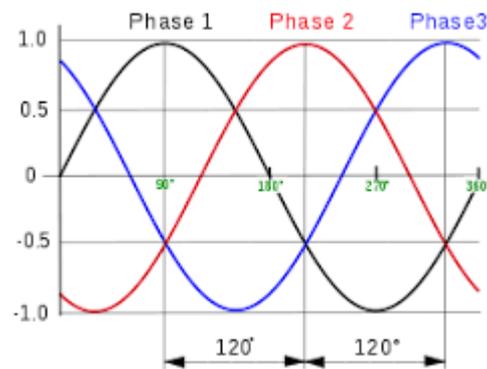


**Figura 3.2:** Representación gráfica de la tensión frente al tiempo en CA

**Fuente:** [6]

### 3.3.1. Generación trifásica.

La distribución y generación de energía eléctrica se da a través de sistemas trifásicos de corriente alterna (A.C.). La fuente trifásica de voltaje está compuesta de tres fuentes monofásicas que tienen idéntico nivel de voltaje, pero desfasadas una de otra, 120 grados. En la figura 4.5 se muestra la señal trifásica con sus tres fuentes, que denominamos como R a la Línea 1. Luego S a la Línea 2 y T a la Línea 3. Por tal razón la fuente S está desfasada 120 grados con respecto a R y la fuente T. está desfasada 240 grados con respecto a la fuente R. [6]

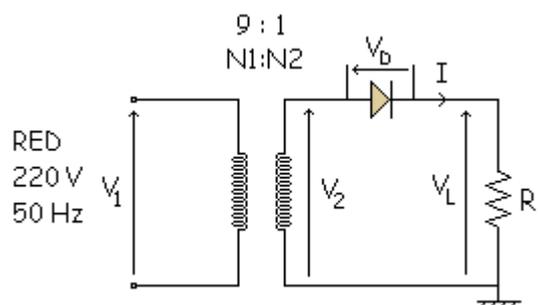


**Figura 3.3:** Representación gráfica del sistema de tensiones trifásico equilibrado  
**Fuente:** [6]

### 3.4. Rectificadores.

En casi todas las aplicaciones de electrónica, la entrada que está en forma de voltaje alterno obtenido del sistema de distribución pública, debe ser convertida en voltaje continuo. Para tal fin se emplean los rectificadores.

Los rectificadores, también llamados convertidores de corriente, transforman la corriente alterna en corriente continua. Nótese en la Figura 3.4, un circuito de rectificación monofásica de media onda con la relación de los transformadores primario y secundario. [2]



**Figura 3.4:** Circuito del rectificador monofásico de media onda  
**Fuente:** [7]

## Tipos de Rectificadores

Por la configuración de conexión de los elementos rectificadores tenemos:

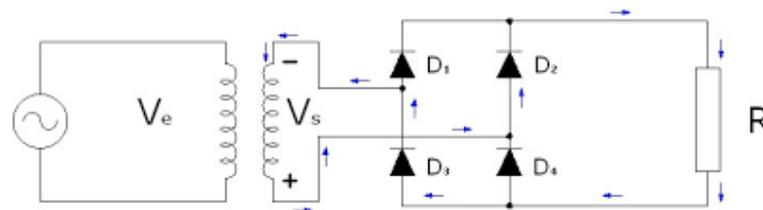
- Rectificadores de media onda monofásicos y trifásicos.
- Rectificadores de onda completa monofásicos y trifásicos.

Por la forma de controlar el voltaje de salida rectificado tenemos:

- Rectificadores no controlados.
- Rectificadores controlados.
- Rectificadores Semi-controlados.

### 3.4.1. Rectificador monofásico de onda completa.

Es un circuito empleado para convertir una señal de corriente alterna de entrada ( $V_i$ ), en corriente de salida pulsante ( $V_o$ ). A diferencia del rectificador de media onda, en este caso, la parte negativa de la señal se convierte en positiva o bien la parte positiva de la señal se convertirá en negativa, según se necesite una señal positiva o negativa de la corriente continua.



**Figura 3.5:** Rectificador de onda completa

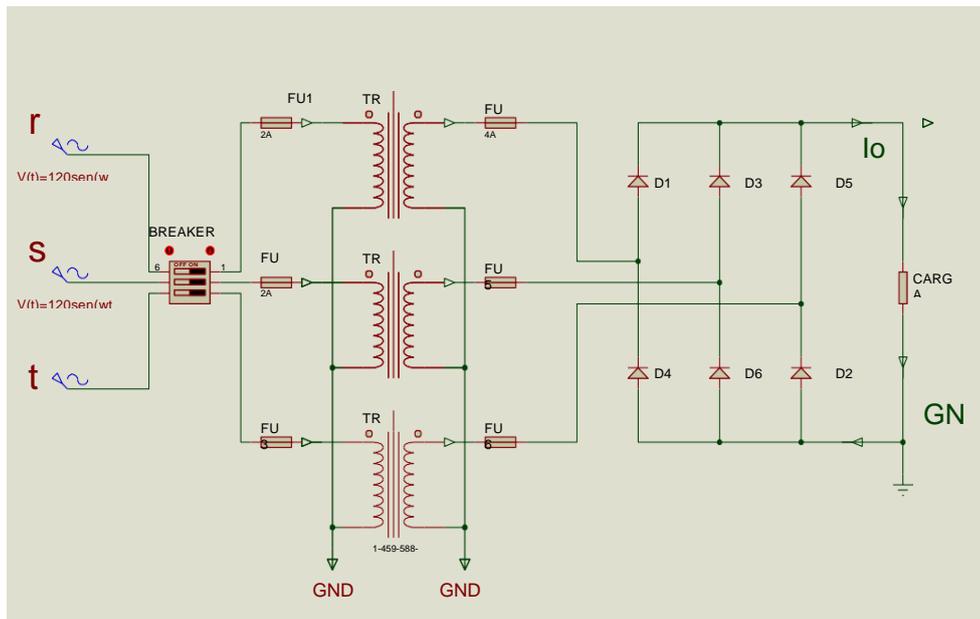
**Fuente:** [7]

### 3.4.1. Rectificador trifásico no controlado

En la figura 3.6, nótese el diagrama de un rectificador trifásico no controlado de onda completa.

Los rectificadores de onda completa son circuitos utilizados para transformar una señal de entrada de voltaje alterno ( $V_i$ ) en una señal de salida de voltaje continuo ( $V_o$ ) pulsante. En este caso, la parte negativa de la señal se transforma en positiva o bien la parte positiva de la señal se transforma en negativa. [2]

**Figura 3.6:** Circuito del rectificador trifásico no controlado



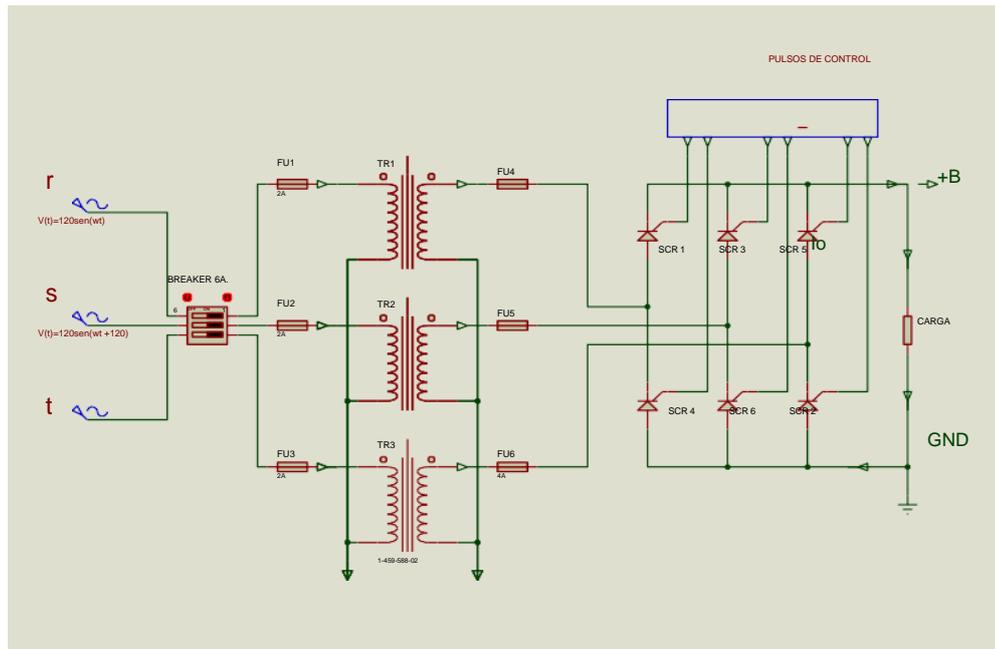
Según la ley de Kirchoff para la tensión aplicada, solamente conduce un diodo a la vez, es decir; los diodos  $D_1$ ,  $D_3$  y  $D_5$ . Por tal razón en un tiempo  $t$  el diodo en estado de conducción tendrá su ánodo conectado a la fase de mayor magnitud. Así mismo en la mitad inferior, es decir; los diodos  $D_2$ ,  $D_4$  y  $D_6$  se muestra que solo puede conducir un diodo a la vez cuando su cátodo tenga conectada la fase de menor valor en ese instante. [8]

De tal manera se define a la electrónica de potencia como una alternativa para adaptar y convertir la energía eléctrica, con el objetivo de controlar máquinas eléctricas.

### 3.4.2. Rectificador trifásico controlado.

En estos circuitos se pueden sustituir los diodos por tiristores, de tal forma que se obtenga un sistema de rectificación controlada. Este sistema permitirá la regulación del valor de la tensión en la carga. El cambio del diodo por el tiristor retrasa la entrada en conducción, lo cual sucede no sólo cuando el voltaje es positivo sino también cuando se inyecta un pulso a la puerta del tiristor. [8]

Como principio de funcionamiento se dispara los tiristores con cierto ángulo con relación al punto natural de conmutación o también llamado paso por cero de entrada, con esto se obtiene usar el voltaje de la fuente sobre la carga en un tiempo variable, que depende mucho del disparo, por tal razón se obtiene alterar los valores de la tensión en la carga.



**Figura 3.7:** Circuito del rectificador trifásico controlado.

Como principio de funcionamiento se dispara los tiristores con cierto ángulo con relación al punto natural de conmutación o también llamado paso por cero de entrada, con esto se obtiene usar el voltaje de la fuente sobre la carga en un tiempo variable, que depende mucho del disparo, por tal razón se obtiene alterar los valores de la tensión en la carga.

El ángulo de disparo  $\alpha$ , es el intervalo en el cual se polariza en directa el SCR y el momento de aplicación de la señal de puerta. Se debe mantener la excitación de puerta hasta que el tiristor alcance la conducción. En este evento es más recomendable utilizar un tren de impulsos. [2]

### 3.5. Elementos de potencia de los rectificadores

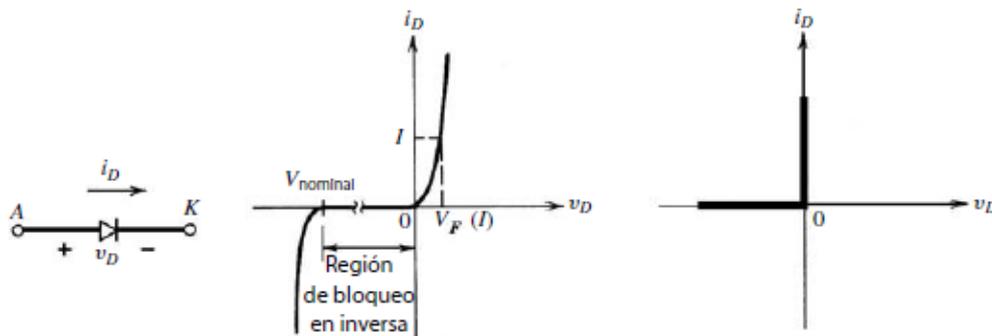
#### 3.5.1. Diodo.

##### 3.5.1.1. Los diodos rectificadores.

Los diodos rectificadores son usados en fuentes de alimentación para convertir la corriente alterna (AC) a corriente continua (DC), un proceso conocido como rectificación. También son usados en circuitos en los cuales han de pasar grandes corrientes a través del diodo. Todos los diodos rectificadores están hechos de silicio y por lo tanto tienen una caída de tensión directa de 0,7 V. [9]

Las figuras 3.9 muestran el símbolo de circuito para el diodo y su característica de estado permanente  $i-v$ . Cuando el diodo está polarizado en directa, empieza a conducir con solo un

pequeño voltaje en directo a través de él, que está en el orden de 1 V. Cuando el diodo está en polarización inversa, solo una corriente de fuga muy insignificante fluye a través del dispositivo hasta que se alcanza la tensión de ruptura inversa. En la operación normal, el voltaje de polarización inversa no debe alcanzar el punto de ruptura.



**Figura 3.8:** Diodo: símbolo, característica  $i$ - $v$ , característica idealizada.

**Fuente:** [9]

Según los requisitos de la aplicación, están disponibles varios tipos de diodos:

### 3.5.1.2.1. Diodos Schottky.

Estos diodos se usan donde se requiere una caída baja de tensión directa (normalmente 0.3 V) en circuitos de tensión de salida muy baja. Estos diodos están limitados en su capacidad de tensión de bloqueo a 50 \_ 100 V.

### 3.5.1.2.2. Diodos de recuperación rápida.

Estos diodos están diseñados para el uso en circuitos de alta frecuencia, en combinación con interruptores controlables donde se necesita un tiempo corto de recuperación inversa. En niveles de energía de varios cientos de voltios y varios cientos de amperios, estos diodos tienen un grado de  $t_{rr}$  de menos que unos cuantos milisegundos.

### 3.5.1.2.3. Diodos de frecuencia de línea.

El voltaje de estado de encendido de estos diodos está diseñado para ser lo más bajo posible, y en consecuencia tienen tiempos  $t_{rr}$  más grandes, aceptables para aplicaciones de frecuencia de

línea. Estos diodos están disponibles con magnitudes de voltaje de bloqueo de varios kilovoltios y magnitudes de corriente de varios kiloamperios. Además, se pueden conectar en serie y paralelo para satisfacer cualquier requisito de corriente. [9]

### 3.5.2. Tiristores.

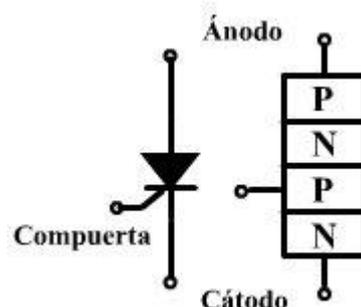
Los tiristores son una familia de dispositivos semi conductores de potencia. Se usan mucho en circuitos electrónicos de potencia. Se manejan como interruptores biestables, que funcionan de un estado no conductor a un estado conductor.

Los tiristores convencionales se diseñan sin la función de apagado controlada por la compuerta, y en ese caso, el tiristor puede pasar de su estado conductor hasta un estado no conductor sólo cuando se hace bajar la corriente a cero por otros medios.

En comparación con los transistores, los tiristores tienen menores pérdidas por conducción en estado encendido y mayor especificación de manejo de potencia. Por otra parte, los transistores tienen en general mejor funcionamiento en conmutación, por su mayor velocidad y menores pérdidas de conmutación. Se hacen progresos continuos para obtener dispositivos con lo mejor de ambos (tiristores y transistores), es decir, bajas pérdidas en estado encendido y mayor especificación de manejo de potencia. [10]

#### 3.5.2.1. Características de los tiristores.

Un tiristor es un dispositivo semiconductor con cuatro capas, de estructura *pnpn*, con tres uniones *pn*. Tiene tres terminales: ánodo, cátodo y compuerta. La figura 3.10 muestra el símbolo del tiristor y el corte de las tres uniones *pn*. Los tiristores se fabrican por dispersión difusión.



**Figura 3.9:** Símbolo del tiristor y tres uniones *pn*.

**Fuente:** [10]

### 3.5.2.2. Activación del tiristor.

Un tiristor se enciende, aumentando la corriente anódica. Esto se hace de una de las siguientes maneras.

- **Térmica.** Si la temperatura de un tiristor es alta, hay un aumento en la cantidad de pares electrón-hueco, que aumenta las corrientes de fuga. Este aumento en las corrientes hace aumentar a  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ . Debido a la acción regenerativa,  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  puede tender a la unidad, y el tiristor se puede activar. Este tipo de activación puede causar avalancha térmica, y en el caso normal se evita.
- **Luz.** Si se deja incidir luz en las uniones de un tiristor, aumentan los pares electrón-hueco y el tiristor puede activarse. Los tiristores activados con luz se encienden dejando que la luz incida sobre la oblea de silicio.
- **Alto voltaje.** Si el voltaje en sentido directo, de ánodo a cátodo, es mayor que el voltaje de ruptura en sentido directo  $V_{BO}$ , pasa una corriente de fuga suficiente para iniciar la activación regenerativa. Esta clase de activación es destructiva, y se debe evitar.
- **Disparo por aumento de  $dv/dt$ .** Un rápido aumento de la tensión directa de ánodo cátodo puede producir una corriente transitoria de puerta que active el tiristor. Generalmente se elimina este problema utilizando circuitos de protección basados en R, C o L. Valores típicos de  $dv/dt$  están comprendidos entre  $5V/\mu\text{seg}$  a  $500V/\mu\text{seg}$ .

### 3.5.2.3. Tipos de tiristores.

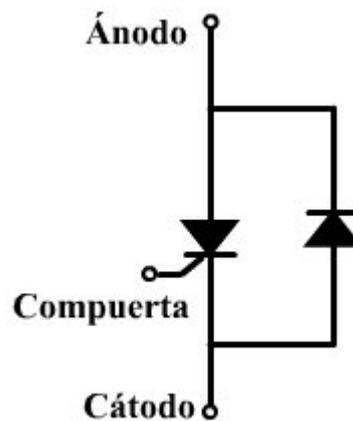
Los tiristores se fabrican por difusión, casi en forma exclusiva. La corriente anódica requiere un tiempo finito para propagarse hasta toda el área de la unión, desde el punto cercano a la compuerta, cuando se inicia la señal de compuerta para encender el tiristor. Los tiristores pueden encenderse con facilidad con un impulso corto. Para apagarlos, requieren circuitos especiales de control, o estructuras internas especiales para auxiliar en el proceso de apagado. Dependiendo de la construcción física y el comportamiento en el encendido y el apagado, se pueden clasificar los tiristores en:

#### 3.5.2.3.1. Tiristores controlados por fase o SCR.

Esta clase de tiristores suele funcionar a la frecuencia de línea, y se apagan por conmutación natural. Un tiristor inicia la conducción en sentido directo, cuando se aplica un pulso de disparo de corriente de la compuerta al cátodo, y se llega y se mantiene con rapidez a la conducción

total, con una caída pequeña de voltaje en sentido directo. No puede hacer que su corriente regrese a cero mediante una señal en su compuerta; en lugar de ello, se basa en el comportamiento natural del circuito para que la corriente llegue a cero. Cuando la corriente anódica baja a cero, el tiristor recupera su capacidad en unas pocas decenas de microsegundos de voltaje de bloqueo en sentido inverso, y puede bloquear la corriente en sentido directo hasta que se aplique el siguiente pulso de encendido. El tiempo de apagado  $t_q$  es del orden de 50 a 100  $\mu\text{s}$ . Es más adecuado para aplicaciones con conmutación de baja velocidad, y también se le llama tiristor convertidor. [11]

El voltaje  $V_T$  en estado de encendido varía, normalmente desde unos 1.15 V para 600 V hasta 2.5 V para dispositivos de 4000 V, y para un tiristor de 1200 V, 5500 A, ese voltaje suele ser 1.25V. Los tiristores modernos usan una compuerta amplificadora donde se controla el encendido de un tiristor auxiliar  $T_A$  mediante una señal de compuerta, y a continuación la salida amplificada de  $T_A$  se aplica como señal de compuerta al tiristor principal  $T_M$ . Esto se ve en la figura 5. La compuerta amplificadora permite tener unas características dinámicas altas con tasas  $dv/dt$  típicas de 1000  $\mu\text{s}$  y tasas  $dvl/dt$  de 500  $\mu\text{s}$ , y simplifica el diseño del circuito porque reduce o minimiza el inductor limitador de la tasa  $dvl/dt$  y los circuitos de protección contra la tasa  $dv/dt$ .



**Figura 3.10:** Tiristor de compuerta amplificadora.  
**Fuente:** [11]

### 3.5.2.3.2. Tiristores de conmutación rápida o SCR.

Se usan en aplicaciones de conmutación de alta velocidad, con conmutación forzada. Tienen un tiempo corto de apagado, por lo general de 5 a 50  $\mu\text{s}$ , dependiendo del intervalo de voltaje. La

caída de voltaje en estado de encendido varía, aproximadamente en función inversa del tiempo de encendido  $t_q$ .

A esta clase de tiristor también se le llama tiristor inversor.

Estos tiristores tienen alta tasa  $dv/dt$ , normalmente de  $1000 \text{ V}/\mu\text{s}$ , y tasa  $dvl/dt$  de  $1000 \mu\text{s}$ . El apagado rápido y la alta  $dvl/dt$  son muy importantes para reducir el tamaño y el peso de los componentes de conmutación o del circuito reactivo. El voltaje en estado de encendido, de un tiristor de  $1800 \text{ V}-2,200 \text{ A}$  suele ser de  $1.7 \text{ V}$ . Los tiristores inversores, con posibilidades muy limitadas de bloqueo en sentido inverso, normalmente de  $10 \text{ V}$ , y que tienen un tiempo de apagado muy corto, de  $3$  a  $5 \mu\text{s}$ , se llaman tiristores asimétricos (ASCRS). [11]

### 3.5.2.3.3. Tiristores de triodo bidireccional (TRIAC).

Un TRIAC es un dispositivo bidireccional, no se puede decir que sus terminales sean ánodo y cátodo. Si la terminal  $M_{T2}$  es positiva con respecto a la terminal  $M_{T1}$ , el TRIAC se puede encender aplicando una señal positiva entre la compuerta G y la terminal  $M_{T1}$ . Si la terminal  $M_{T2}$  es negativa con respecto a la terminal  $M_{T1}$ , se enciende aplicando una señal negativa entre la compuerta G y la terminal  $M_{T1}$ . No es necesario tener las dos polaridades de señal de compuerta, y un TRIAC se puede encender con una señal de compuerta que puede ser positiva o negativa. En la práctica, las sensibilidades varían de uno a otro cuadrante, y los TRIAC se suelen operar en el cuadrante I (voltaje de compuerta y corriente de compuerta positivos), o en el cuadrante III (voltaje y corriente de compuerta negativos). [11]

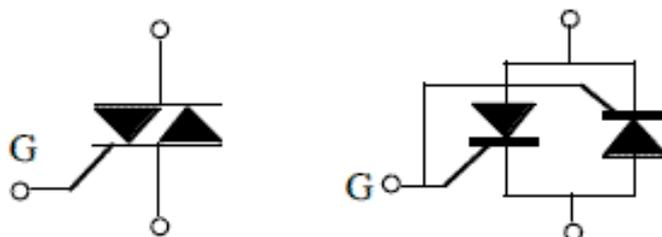


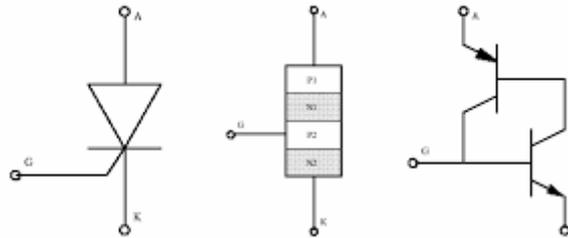
Figura 3.11: Equivalente y símbolo del TRIAC

Fuente: [11]

### 3.5.2.3.4. Tiristores apagados por compuerta (GTO).

Son semiconductores discretos que actúan como interruptores completamente controlables, los cuales pueden ser encendidos y apagados en cualquier momento con una señal de compuerta positiva o negativa respectivamente. Estos componentes están optimizados para tener muy bajas pérdidas de conducción y diseñados para trabajar en las más demandantes aplicaciones

industriales. Estos componentes son altamente utilizados en Convertidores de Alto Voltaje y Alta Potencia para aplicaciones de baja y media frecuencia.



**Figura 3.12:** Equivalente del tiristor GTO

**Fuente:** [12]

### Características

El disparo se realiza mediante una  $V_{GK} > 0$ .

El bloqueo se realiza con una  $V_{GK} < 0$ .

La ventaja del bloqueo por puerta es que no se precisan de los circuitos de bloqueo forzado que requieren los SCR.

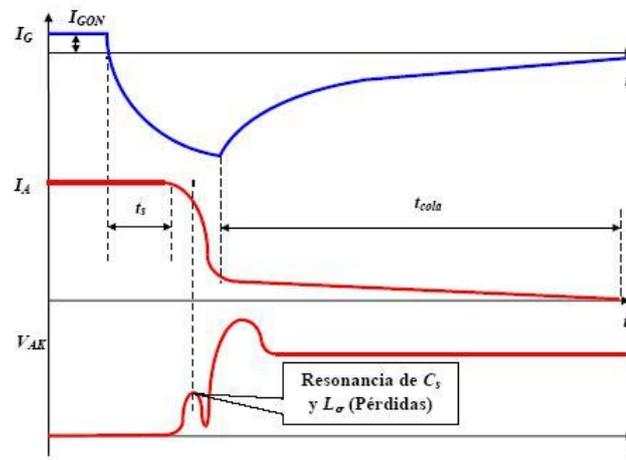
La desventaja es que la corriente de puerta tiene que ser mucho mayor por lo que el generador debe estar más dimensionado.

El GTO con respecto al SCR disipa menos potencia.

- **Encendido de un GTO.**

Al igual que ocurre con un tiristor convencional, para llevar a cabo el encendido de un GTO es necesario aplicar una determinada corriente entrante por la puerta. Sin embargo, en el encendido de un GTO la corriente máxima por la puerta  $I_{GM}$  y la velocidad de variación de dicha corriente al principio de la conducción deben ser lo suficientemente grandes como para asegurar que la corriente circula por todas las islas cátodo.

La estructura del GTO es esencialmente la de un tiristor convencional. Existen 4 capas de silicio (PNPN), 3 uniones (P-N, N-P y P-N) y tres terminales: ánodo (A), cátodo (C o K) y puerta (G). La diferencia en la operación radica en que una señal negativa en la puerta (G) puede apagar el GTO. Mientras el GTO se encuentre apagado y no exista señal en la puerta, el dispositivo se bloquea para cualquier polaridad en el ánodo, pero una corriente de fuga ( $I_A$  leak) existe. Con un voltaje de bias en directa el GTO se bloquea hasta que un voltaje de ruptura  $V_{AK} = V_{B0}$  es alcanzado.



**Figura 3.13:** Comportamiento del encendido y apagado del GTO

**Fuente:** [12]

Si esto no fuese así y sólo algunas islas cátodo condujeran, la densidad de corriente en estas islas sería tan elevada que el excesivo calentamiento en zonas localizadas podría provocar la destrucción del dispositivo.

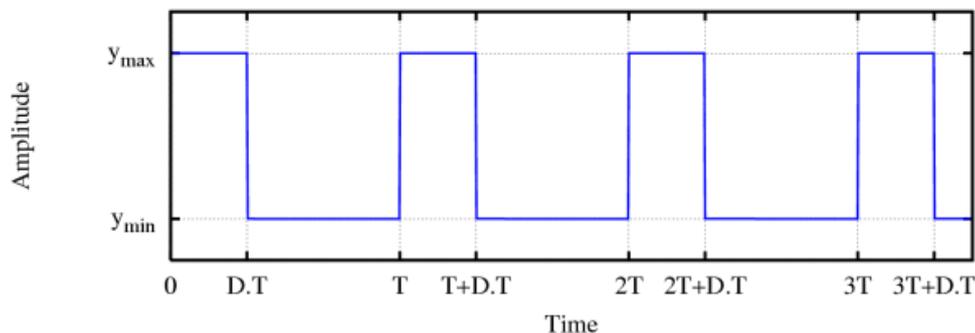
### Apagado.

Al comenzar a circular corriente positiva por la puerta, la corriente de ánodo a cátodo se concentra en las zonas situadas entre los terminales de puerta, aumentando la densidad de corriente en estas zonas.

De esta forma, el GTO no comienza a apagarse hasta que la corriente de ánodo a cátodo ha quedado reducida a pequeños filamentos entre los terminales de puerta. Entonces la tensión  $V_{AK}$ , hasta entonces muy pequeña al estar el GTO en funcionamiento, comienza a aumentar. Como la gran densidad de corriente que circula por estos pequeños filamentos podría ocasionar su destrucción, se utiliza un condensador snubber en paralelo con el GTO, que ofrece a la corriente un camino alternativo por donde circular. Así, cuando  $V_{AK}$  comienza a aumentar el condensador comienza a cargarse, por lo que parte de la corriente que circulaba por el GTO lo hace ahora por el condensador.

### 3.5.3. Modulación de anchos de pulsos (PWM)

“La PWM consiste en una señal con una determinada frecuencia (y por lo tanto con un mismo periodo) que consta de dos valores fijos de tensión: uno alto (HIGH), que es la amplitud, y otro bajo (LOW), que es el valor nulo.” [13]



**Figura 3.14:** Señal de salida de pulsos altos y bajos de la PWM

**Fuente:** [13]

También consta de otro parámetro, que se denomina ciclo de trabajo (*duty cycle*), y que se refiere al porcentaje de tiempo que el pulso (la cantidad de voltaje entregada) está en activo durante un ciclo o periodo.

Otro parámetro importante es el ancho de pulso (*PW – Pulse Width*), que define el tiempo que dura el pulso.

Por tanto, el PWM es una técnica que consiste en variar el ancho de pulso de una señal de voltaje cuadrada con el objetivo de controlar la cantidad de potencia administrada a los componentes o elementos electrónicos conectados. De esta forma, con un ciclo de trabajo del 100 % entregaríamos los 5V totales; un ciclo de trabajo del 50 % entregaría un voltaje de 2.5 V; con un ciclo de trabajo del 10 % conseguiríamos un voltaje del 0.5 V; y así sucesivamente.

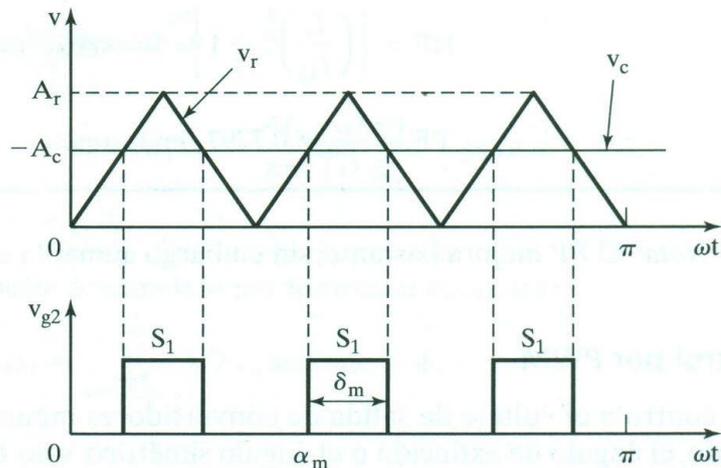
#### 3.5.4. Control por PWM

Si se controla el voltaje de salida de convertidores monofásicos haciendo variar el ángulo de retardo, el ángulo de extinción o el ángulo simétrico, sólo hay un pulso por medio ciclo en la corriente de entrada al convertidor, y el resultado es que la armónica de orden menor es la tercera.

Es difícil filtrar y separar una corriente armónica de orden bajo. En el control por PWM, los interruptores del convertidor se abren y cierran varias veces durante un medio ciclo, y el voltaje de salida se controla haciendo variar el ancho de los pulsos. Las señales de compuerta se generan comparando una onda triangular con una señal de cd, como se muestra en la figura 3.17. Las armónicas de orden menor se pueden eliminar o reducir seleccionando la cantidad de pulsos por medio ciclo. Sin embargo, si aumenta la cantidad de pulsos también se incrementa

la magnitud de las armónicas de orden mayor, que se podrían filtrar separándolas con facilidad.

[12]



**Figura 3.15:** Control de la PWM

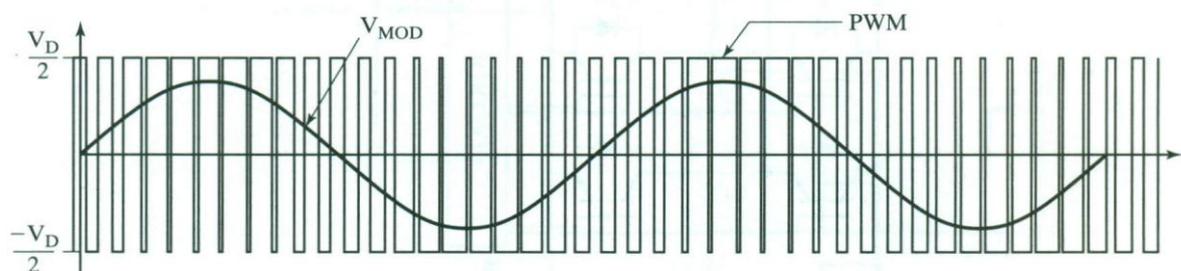
**Fuente:** [13]

### 3.5.4.1. Rectificador trifásico PWM.

Hay dos topologías de circuito para los rectificadores trifásicos:

- 1) Un rectificador de fuente de corriente, donde se hace la inversión de potencia por inversión de voltaje de cd, y
- 2) Un rectificador de fuente de voltaje, donde la inversión de potencia es por inversión de corriente en el enlace de

cd. La PWM puede controlar tanto potencia activa como potencia reactiva. Así, se puede usar este tipo de rectificador para corrección de FP. La forma de onda de corriente alterna también se puede mantener casi sinusoidales, reduciendo la contaminación por armónicas a la alimentación. La PWM cierra y abre los interruptores en una forma preestablecida, por lo general una forma sinusoidal de voltaje o corriente. Un ejemplo, la modulación de una fase se muestra en la figura 3.18 con amplitud de  $V_{mod}$  para la señal moduladora.



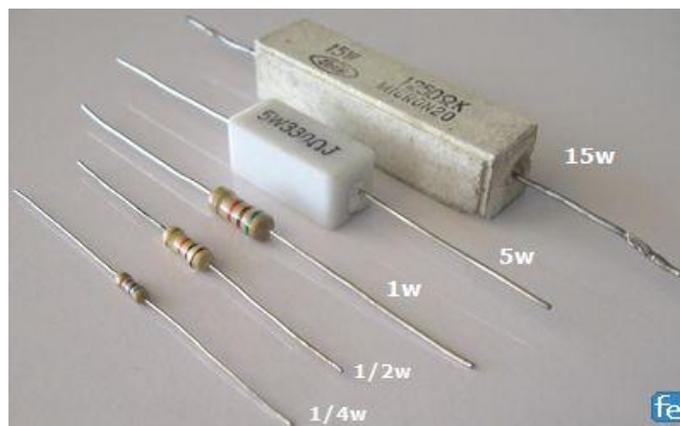
**Figura 3.16:** Patrón PWM y su voltaje modulador fundamental VMOD

**Fuente:** [13]

### 3.5.5. Resistores.

En electrónica se define como la oposición al paso de la corriente eléctrica. Es el componente más simple por su construcción y funcionamiento, también el más utilizado en los aparatos electrónicos. Existen muchos aparatos en donde se utilizan resistores para convertir energía eléctrica en energía calorífica, es el caso de las estufas, los hornos, las planchas, los calentadores de agua, etc.

“Denomina resistor o resistencia al componente electrónico diseñado para introducir una resistencia eléctrica determinada entre dos puntos de un circuito. En otros casos, como en las planchas, calentadores, etc., las resistencias se emplean para producir calor aprovechando el efecto Joule”. [14]



**Figura 3.17:** Resistor  
**Fuente:** [14]

La unidad de medida de un resistor es el OHMIO y se representa con el símbolo de omega ( $\Omega$ ) del alfabeto griego. Por ejemplo, un resistor de 1000 ohmios se representa como 1000  $\Omega$  o 1 K $\Omega$  y presenta una oposición a la corriente cuatro veces más que uno de 25  $\Omega$ . [15]

### 3.5.6. Capacitores.

Se llama capacitor a un dispositivo que almacena carga eléctrica. El capacitor está formado por dos conductores próximos uno a otro, separados por un aislante, de tal modo que puedan estar cargados con el mismo valor, pero con signos contrarios.



**Figura 3.18:** Elemento capacitivo de 8 µf a 60V.

**Fuente:** [15]

En su forma más sencilla, un capacitor está formado por dos placas metálicas o armaduras paralelas, de la misma superficie y encaradas, separadas por una lámina no conductora o dieléctrico. Al conectar una de las placas a un generador, ésta se carga e induce una carga de signo opuesto en la otra placa. Por su parte, teniendo una de las placas cargada negativamente  $Q^-$  y la otra positivamente  $Q^+$  sus cargas son iguales y la carga neta del sistema es cero, sin embargo se dice que el capacitor se encuentra cargado con una carga  $Q$ . [16]

Los capacitores pueden conducir corriente continua durante sólo un instante, por tal razón se concluye que los capacitores, para las señales continuas, es como un cortocircuito. Es por esta propiedad, que lo convierte en un dispositivo muy útil cuando se debe impedir que la corriente continua entre a determinada parte de un circuito eléctrico, pero también, cuando si se requiere que pase la corriente alterna.

Los capacitores se utilizan junto con las bobinas, formando circuitos en resonancia, en las radios y otros equipos electrónicos. Además, en los tendidos eléctricos se utilizan grandes capacitores para producir resonancia eléctrica en el cable y permitir la transmisión de más potencia. Además, se utilizan en: motores de aire acondicionado, ventiladores, iluminación, compresores, refrigeración, motores de corriente alterna y bombas de agua, por la propiedad antes mencionada.

De esta forma podemos distinguir los siguientes tipos de capacitores:

Cerámicos.

Plástico.

Mica.

Electrolíticos.

### 3.5.7. Inductores

El inductor es un componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

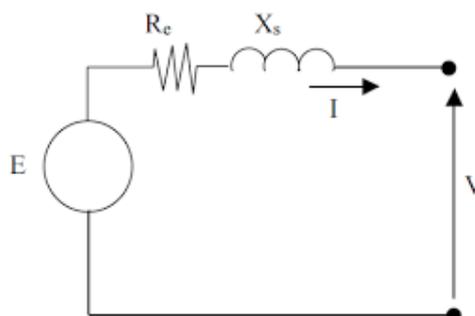
Un inductor está constituido normalmente por una bobina de conductor, típicamente alambre o hilo de cobre esmaltado. Existen inductores con núcleo de aire o con núcleo hecho de material ferroso como el acero magnético, para incrementar su capacidad de magnetismo.

Los inductores pueden también estar construidos en circuitos integrados, empleando el mismo proceso utilizado para realizar microprocesadores. En estos casos se usa, comúnmente el aluminio como material conductor. Sin embargo, es raro que se construyan inductores dentro de los circuitos integrados; es mucho más práctico usar un circuito llamado "girador" que, mediante un amplificador operacional, hace que un condensador se comporte como si fuese un inductor.

“Los inductores son elementos lineales y pasivos que pueden almacenar y liberar energía basándose en fenómenos relacionados con campos magnéticos. Una aplicación de los inductores, consistente en bloquear las señales de AC de alta frecuencia en circuitos de radio, dio origen a que con dicho término se haga referencia a los inductores que se emplean en aplicaciones donde su valor no es crítico y que por lo tanto admiten grandes tolerancias.” [15]

#### 3.5.7.1. Modelo equivalente del inductor.

Los inductores ideales no disipan energía como lo hacen los resistores. Pero en la práctica, el inductor real presenta una resistencia de devanado que disipa energía. Nótese en la figura 3.21, un modelo práctico y simplificado del inductor.



**Figura 3.19:** Modelo equivalente del inductor.

**Fuente:** [16]

Donde,  $R$  representa las pérdidas en el devanado, cuyo valor generalmente es pequeño, pero puede llegar a varios cientos de ohmios. Un modelo más completo contempla además la capacidad parásita o distribuida debido a la capacidad entre las vueltas del bobinado. [17]

### **Clasificación de los inductores**

#### **Según el núcleo o soporte:**

- Núcleo de aire
- Núcleo de hierro.
- Núcleo de ferrita.

#### **Según la forma constructiva:**

- Solenoides.
- Toroides.

#### **Según la frecuencia de la corriente aplicada:**

- Alta frecuencia.
- Baja frecuencia.

#### **Según el recubrimiento:**

- Plástico
- Resina
- Metal (apantalladas).

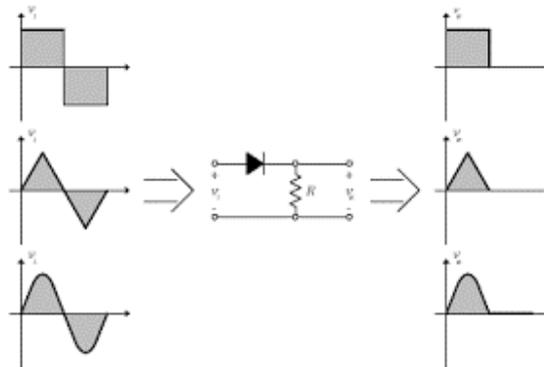
#### **Según la característica de su valor:**

- Fijos
- Ajustables.

### **3.6. Circuitos recortadores de onda**

Tipos de circuitos que se encargan de recortar una porción de una señal alternante. También puede ser la de limitar el valor máximo que puede tomar una señal de referencia o bien una

señal de control, en cuyo caso estos circuitos son también reconocidos como circuitos limitadores. [18]



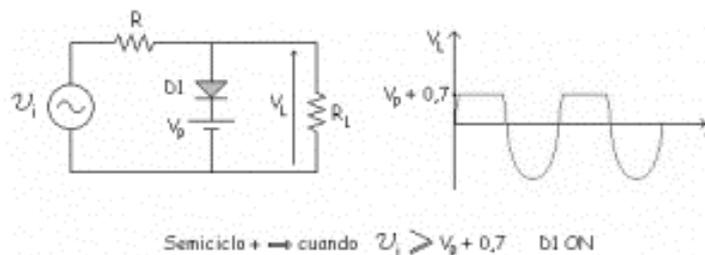
**Figura 3.20:** Recortador tipo serie

Fuente: [19]

### 3.6.2. Recortadores De Diodos

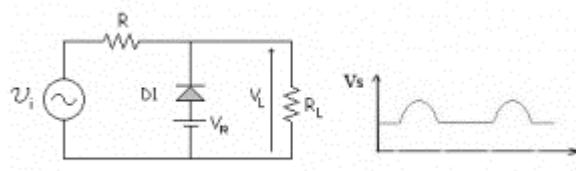
- **Recortador de diodo paralelo**

En la figura muestra el circuito y la forma de onda obtenida a la salida del mismo. Como se observa la señal de entrada es una señal sinusoidal y el circuito cuenta con una resistencia, un diodo en serie con una fuente polarizado en inversa y una  $R$  de carga. Cuando el voltaje de la fuente se hace mayor que la suma del voltaje de la fuente y el voltaje umbral de conducción del diodo, el diodo se polariza en directa y obtenemos la forma de onda mostrada. [20]



**Figura 3.21:** Recortador por debajo

Fuente: [19]



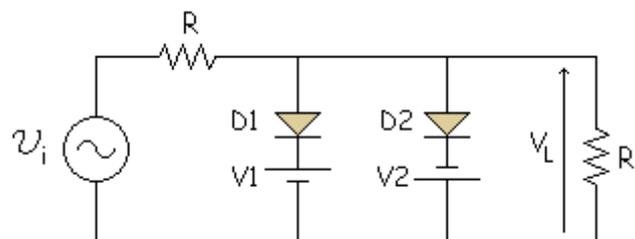
**Figura 3.22:** Recortador por encima

Fuente: [19]

- **Doble recortador de diodos**

En los recortadores analizados hasta ahora solo se recorta a un solo nivel determinado por la fuente VR que puede ser ajustable. No obstante, en muchas aplicaciones prácticas resulta de interés poder recortar la señal a 2 niveles distintos que puedan ser ajustados a voluntad, e independientemente. En tales ocasiones se utilizan dobles recortadores de diodo que constan de 2 recortadores como los ya analizados, por lo tanto, podemos considerar 4 configuraciones de dobles recortadores que en lo sustancial son capaces de realizar la misma función, pero con las diferencias que observamos en cuanto a la posición del diodo. [21]

En efecto, podemos considerar los recortadores serie-paralelo, paralelo-serie, serie-serie y paralelo-paralelo. El funcionamiento y análisis general de cualquiera de estas configuraciones es idéntico al de los recortadores simples.



**Figura 3.23:** Doble recortador de diodos  
Fuente [19]

### 3.7. Cables de conexión

#### 3.7.2. Definición de cables de conexión eléctricos

Cables conectores es un término resolución de problemas eléctricos. No se refiere a ayudar a arrancar la batería de un coche, a pesar de que los cables conectores de la batería llevan a cabo la misma función básica que los cables de conexión eléctricos que completan un circuito. Los cables de conexión completan el circuito de un sistema eléctrico de un automóvil a otro, mientras que los cables de conexión completan un circuito dentro de un dispositivo eléctrico para ayudar a aislar el problema. [22]

Los mecánicos, electricistas y otros trabajadores de la electricidad utilizan una variedad de técnicas de solución de problemas para aislar los problemas. Ellos usan diagramas de cableado, esquemas, luces de prueba y multímetros para ayudar a descubrir la raíz de la dificultad eléctrica. En dispositivos que tienen muchos componentes eléctricos y que trabajan en conjunto,

los técnicos tienen que aislar a menudo uno o más sistemas para determinar donde se encuentra verdaderamente el mal funcionamiento.

### **3.7.3. Conexión.**

Conectar un cable es una manera de desviar parte de un circuito eléctrico. Esto permite a los técnicos centrarse en una parte de un circuito a la vez o centrarse en todo el circuito, excepto en una parte. Para conectar un cable, un técnico coloca físicamente un conductor, tal como un cable o sonda de prueba desde una parte de un circuito a otra, desviando cualquier componente que se encuentran entre los lugares de paso del cable. Por ejemplo, si un circuito contiene una campana y una luz, pero la luz no se encenderá porque hay una interrupción en el circuito en algún lugar en el sistema de la campana, un técnico puede colocar un cable de conexión de un conector eléctrico a un lado de la campana al conector del lado opuesto, evitando cualquier rotura en el sistema de la campana. Si la luz se enciende, la falla está en el circuito de la campana.

### **3.7.4. Seguridad del conector.**

Utiliza siempre un cable conector del calibre adecuado. El uso de un cable de calibre más delgado que el circuito que está siendo desviado puede ser peligroso. Tampoco uses cables de conexión para desviar la resistencia. La reducción de la resistencia aumentará la corriente eléctrica y puede resultar en daños, patadas o incendio. También es aconsejable utilizar dispositivos de conexión con botas aislantes para protegerte del contacto accidental con otro circuito o cable a tierra.

## **3.8. Fuentes de alimentación.**

Las empresas de energía eléctrica generan, transportan y distribuyen la corriente en forma alterna. Esto es así porque de esta forma se obtienen ventajas tales como mejor rendimiento y mayor eficiencia en el transporte de la misma. En el caso de nuestro país, la energía se distribuye en forma trifásica, a 220 Voltios fase-neutro, con una frecuencia de 50 ciclos por segundo. Sin embargo, los equipos electrónicos, en su mayoría, funcionan con corriente continua. Así, el dispositivo que convierte la corriente alterna a corriente continua, en los niveles requeridos por el circuito electrónico a alimentar, se llama fuente de alimentación. [23]

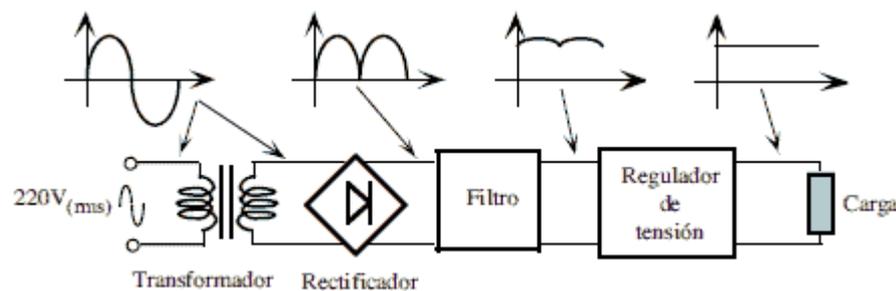
Se entiende por fuente de alimentación un sistema electrónico que suministra las tensiones y corrientes necesarias para el funcionamiento de los circuitos electrónicos. Por tanto, las fuentes

de alimentación son sistemas suministradores de energía eléctrica. Usualmente la entrada es una tensión alterna proveniente de la red eléctrica comercial y la salida es una tensión continua con bajo nivel de rizado. Constan en general de tres etapas:

- Sección de entrada: compuesta principalmente por un transformador, un rectificador, y también tiene elementos de protección como fusibles, varistorés, etc.
- Sección de salida: su misión es filtrar, controlar, limitar, proteger y adaptar la fuente a la carga a la que esté conectada.
- Regulación: su misión es mantener la salida en los valores prefijados.

Este tipo de fuentes pueden ser tanto lineales como conmutadas.

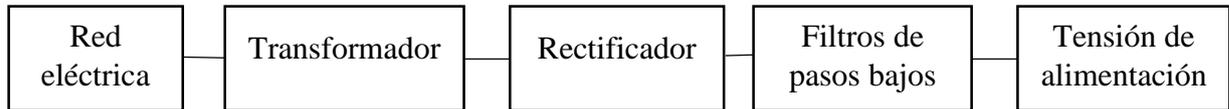
Las fuentes lineales siguen el esquema: transformador, rectificador, filtro, regulación y salida. En primer lugar, el transformador adapta los niveles de tensión y proporciona aislamiento galvánico. El circuito que convierte la corriente alterna en continua se llama rectificador, después suelen llevar un circuito que disminuye el rizado como un filtro de condensador. La regulación se consigue con un componente disipativo regulable. La salida puede ser simplemente un condensador. [24]



**Figura 3.25:** Fuente de alimentación  
**Fuente:** [23]

Las fuentes conmutadas tienen por esquema: rectificador, conmutador, transformador, otro rectificador y salida. La regulación se obtiene con el conmutador, normalmente un circuito PWM (Pulse Width Modulation) que cambia el ciclo de trabajo. Aquí las funciones del transformador son las mismas que para fuentes lineales pero su posición es diferente. El segundo rectificador convierte la señal alterna pulsante que llega del transformador en un valor continuo. La salida puede ser también un filtro de condensador o uno del tipo LC.

Las ventajas de las fuentes lineales son una mejor regulación, velocidad y mejores características EMC. Por otra parte, las conmutadas obtienen un mejor rendimiento, menor coste y tamaño. [23]



### 3.9. Osciloscopio

El osciloscopio es básicamente un dispositivo de visualización gráfica que muestra señales eléctricas variables en el tiempo. [25]

El eje vertical, a partir de ahora denominado Y, representa el voltaje; mientras que el eje horizontal, denominado X, representa el tiempo.

Básicamente podemos hacer con un osciloscopio:

- Determinar directamente el periodo y el voltaje de una señal.
- Determinar indirectamente la frecuencia de una señal.
- Determinar que parte de la señal es DC y cual AC.
- Localizar averías en un circuito.
- Medir la fase entre dos señales.
- Determinar que parte de la señal es ruido y como varia este en el tiempo.

Los osciloscopios son de los instrumentos más versátiles que existen y lo utilizan desde técnicos de reparación de televisores a médicos. Un osciloscopio puede medir un gran número de fenómenos, provisto del transductor adecuado (un elemento que convierte una magnitud física en señal eléctrica) será capaz de darnos el valor de una presión, ritmo cardiaco, potencia de sonido, nivel de vibraciones en un coche, etc. [26]

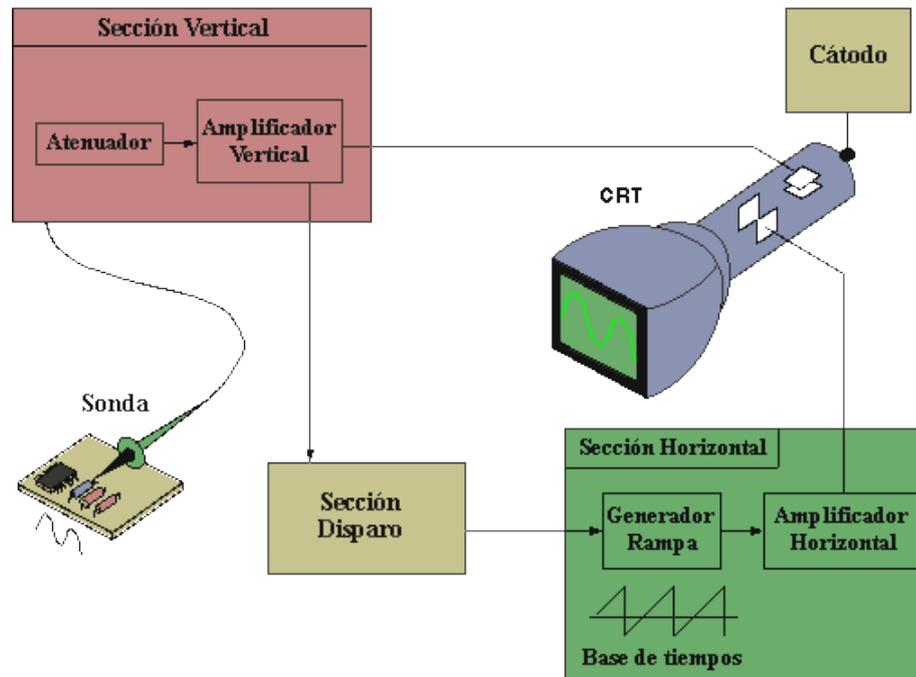
#### 3.9.2. Funcionamiento de osciloscopio.

Para entender el funcionamiento de los controles que posee un osciloscopio es necesario detenerse un poco en los procesos internos llevados a cabo por este aparato. Empezaremos por el tipo analógico ya que es el más sencillo.

Un osciloscopio puede medir un gran número de fenómenos, provisto del transductor adecuado será capaz de darnos el valor de una presión, ritmo cardiaco, potencia de sonido, nivel de vibraciones en un coche, etc.

- **Osciloscopio analógico.**

Cuando se conecta la sonda a un circuito, la señal atraviesa esta última y se dirige a la sección vertical. Dependiendo de dónde situemos el mando del amplificador vertical atenuaremos la señal o la amplificaremos.



**Figura 3.26:** Principio de funcionamiento del osciloscopio analógico

**Fuente:** [26]

En la salida de este bloque ya se dispone de la suficiente señal para atacar las placas de deflexión verticales (que naturalmente están en posición horizontal) y que son las encargadas de desviar el haz de electrones, que surge del cátodo e impacta en la capa fluorescente del interior de la pantalla, en sentido vertical. Hacia arriba si la tensión es positiva con respecto al punto de referencia (GND) o hacia abajo si es negativa.

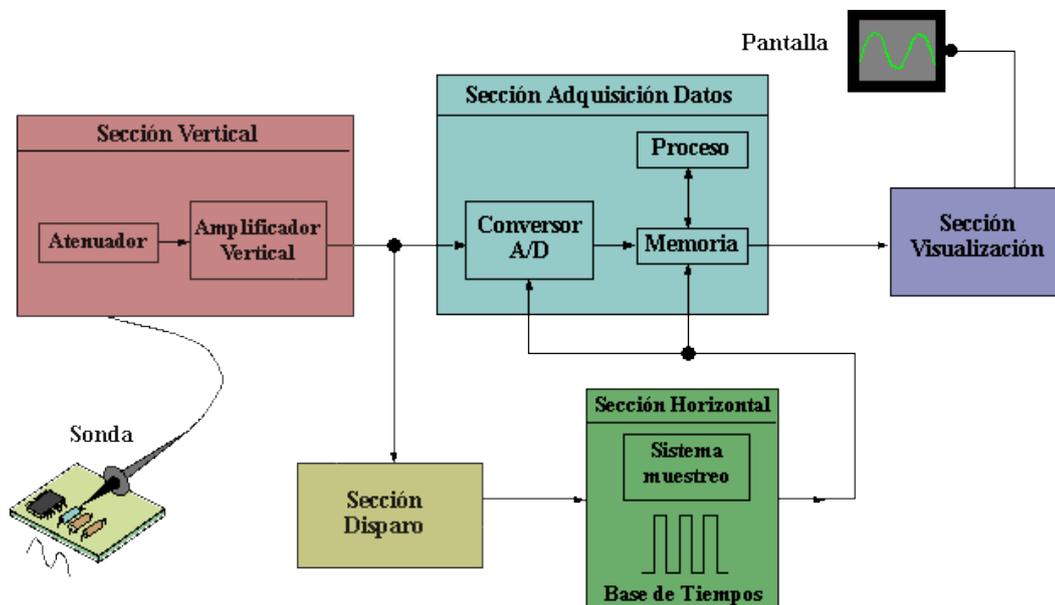
- **Osciloscopios digitales**

Los osciloscopios digitales poseen además de las secciones explicadas anteriormente un sistema adicional de proceso de datos que permite almacenar y visualizar la señal.

Cuando se conecta la sonda de un osciloscopio digital a un circuito, la sección vertical ajusta la amplitud de la señal de la misma forma que lo hacía el osciloscopio analógico.

El conversor analógico-digital del sistema de adquisición de datos muestrea la señal a intervalos de tiempo determinados y convierte la señal de voltaje continua en una serie de valores digitales

llamados muestras. En la sección horizontal una señal de reloj determina cuando el conversor A/D toma una muestra. La velocidad de este reloj se denomina velocidad de muestreo y se mide en muestras por segundo.



**Figura 3.27:** Principio de funcionamiento del osciloscopio analógico

**Fuente:** [26]

### 3.9.3. Términos utilizados al medir.

Existe un término general para describir un patrón que se repite en el tiempo: onda. Existen ondas de sonido, ondas oceánicas, ondas cerebrales y por supuesto, ondas de tensión. Un osciloscopio mide estas últimas. Un ciclo es la mínima parte de la onda que se repite en el tiempo. Una forma de onda es la representación gráfica de una onda. Una forma de onda de tensión siempre se presentará con el tiempo en el eje horizontal (X) y la amplitud en el eje vertical (Y).

La forma de onda nos proporciona una valiosa información sobre la señal. En cualquier momento podemos visualizar la altura que alcanza y, por lo tanto, saber si el voltaje ha cambiado en el tiempo (si observamos, por ejemplo, una línea horizontal podremos concluir que en ese intervalo de tiempo la señal es constante). Con la pendiente de las líneas diagonales, tanto en flanco de subida como en flanco de bajada, podremos conocer la velocidad en el paso de un nivel a otro, pueden observarse también cambios repentinos de la señal (ángulos muy agudos) generalmente debidos a procesos transitorios. [25]

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Enfoque de la investigación**

Se estableció la metodología para la elaboración del módulo de electrónica de potencia para rectificación monofásica y trifásica controlada y no controlada, para lo cual se realizó un análisis de las formas de onda y elementos electrónicos que se pueden utilizar para controlar una magnitud eléctrica, por el método matemático podemos determinar los elementos idóneos que llevara el módulo de practica mediante el cálculo de las magnitudes eléctrica como: voltaje, corriente, resistencia, que nos permitirán seleccionar los elementos electrónicos, eléctricos y protecciones para el desarrollo y construcción del módulo de electrónica de potencia. La aplicación que se le busca dar al módulo es la de permitir observar magnitudes eléctricas y formas de onda mediante las conexiones que se realicen y su visualización con la ayuda del osciloscopio por parte delos estudiantes de electrónica de potencia de la Universidad Técnica De Cotopaxi.

### **4.2. Métodos de la Investigación.**

#### **4.2.1. Método Deductivo.**

Este método es el que nos permite conocer, las formas de onda, el voltaje, la corriente y de disparo que requiere el modulo, mediante la revisión y principio de funcionamiento de elementos electrónicos y eléctricos a partir de una búsqueda bibliográfica.

#### **4.2.2. Método Inductivo.**

Se utiliza el método que nos permite llegar a conclusiones de las formas de ondas mediante la observación, la experimentación, la comparación y abstracción de ideas y conocimientos de otras fuentes que permitan el diseño de los esquemas electrónicos y compararlos con parámetros idóneos que permita el diseño correcto del módulo.

#### **4.2.3. Método matemático.**

Se emplea normas, métodos y cálculos matemáticos existentes para la selección correcta de los elementos electrónicos, eléctricos y protecciones que lleva el modulo, a partir los niveles de voltaje y las magnitudes eléctricas que se va a controlar.

#### 4.2.4. Método empírico.

Se habla de los resultados obtenidos de las simulaciones, observando los parámetros eléctricos para la selección adecuada de elementos que integran el módulo, que permitan el control correcto de las magnitudes eléctricas realizando un adecuado manejo de las mismas y fundamentando los principios de rectificación de una magnitud eléctrica.

#### 4.3. Cuadro de operación de variables.

El cuadro de operación de variable se detalla en el anexo N° 1.

#### 4.4. Técnicas.

La técnica que se utiliza en este trabajo consiste en aplicar la técnica documental y la técnica de campo expresada a continuación:

- **Técnica Documental.**

Para la elaboración y redacción, del marco teórico de este proyecto se utilizó todos los compendios y conceptos, relacionados con la teoría para la demostración experimental de los rectificadores monofásicos y trifásicos.

- **Técnica de Campo.**

Todas las pruebas de campo se van a realizar en el módulo didáctico, para obtener las mediciones, formas de ondas y ciertos comportamientos solo expresados en las pruebas reales, una vez que se interconectan las diferentes etapas y dispositivos.

#### 4.5. Instrumentos.

- **Cálculo.**

Los cálculos de los diversos elementos que consta el módulo se lo realizan con el fin de seleccionar los más apropiados para el desarrollo de los diversos circuitos que consta el módulo para su correcto funcionamiento, obteniendo datos experimentales similares al simulador.

- **Simulación.**

En el desarrollo de este proyecto nos auxiliamos de un software de simulación llamado PROTEUS, que es una herramienta muy utilizada para diseñar y simular de manera práctica. Con este software también se realizarán las vistas para la placa de los circuitos que forman parte del rectificador trifásico.

Con la utilización del de software Proteus, procederemos a simular cada uno de los parámetros de los circuitos de rectificación monofásica y trifásica, las pruebas pertinentes y el correcto funcionamiento de cada circuito que llevara a la implementación del módulo de electrónica de potencia.

El diseño de los circuitos en Proteus nos permite verificar las caídas de voltajes y corrientes para tener la confiabilidad de que al momento de realizar el armado en físico previamente al montaje, perforación y la soldadura de cada elemento en la placa.

#### **4.5.1. Software Proteus.**

Proteus es un entorno integrado diseñado para la realización completa de proyectos de construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas: diseño, simulación, depuración y construcción.

“Es importante el hecho de que este simulador ya cuenta con microcontroladores que pueden ser simulados de manera completa desde sus conexiones hasta su programación.” [27]

“La aplicación Proteus está compuesta básicamente por dos programas principales: Isis, que se utiliza para el diseño del esquema electrónico, y Ares, que sirve para el diseño de la placa de circuito impreso a partir del esquema electrónico realizado anteriormente; y por los módulos VSM y ProSPICE.” [28]

- **Medición.**

Las respectivas mediciones que se va a realizar al módulo de rectificación monofásica y trifásica controlado y no controlada, se contara con la ayuda del osciloscopio y el simulador PROTEUS simuladores comparando las formas de ondas y magnitudes eléctricas obtenidas de las dos formas que se obtiene con el software y el modulo.

#### **4.6. Criterios para la selección de materiales.**

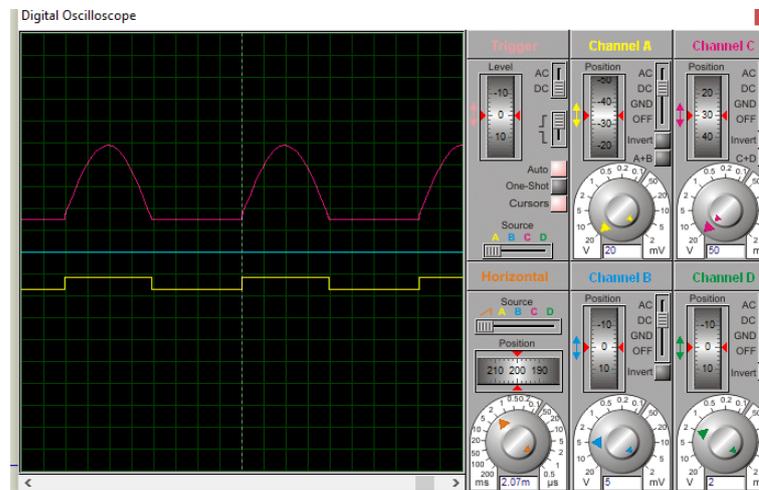
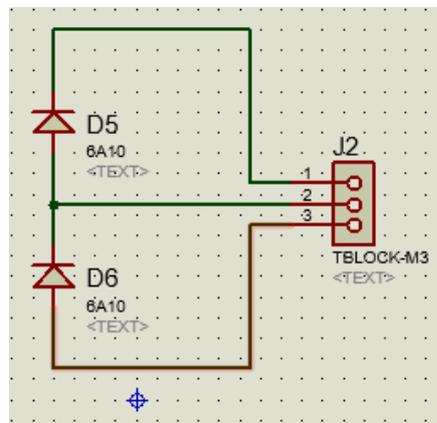
Para la selección de los semiconductores de potencia es necesario establecer los parámetros máximos de corriente y tensión de entrada y salida de operación del módulo de rectificación monofásica y trifásica.

#### 4.6.1. Rectificación monofásica no controlada.

Cuando es necesario realizar la conversión de corriente alterna a corriente continua esto se puede llevar a cabo mediante diodos rectificadores. [29]

##### 4.6.1.1. Rectificación de media onda

Esto se puede realizar con un circuito simple conocido como rectificador de media onda, el cual cambia el voltaje senoidal una onda de voltaje como se muestra en la figura 4.1.



**Figura 4.1:** Circuito rectificador de media onda

Mientras que el voltaje de entrada  $U_i$  tiene un valor promedio de cero, el voltaje de salida de la figura tiene un voltaje promedio de salida igual a  $0.3U_{i\max}$ , pero en este caso el voltaje no es perfectamente continuo.

Colocando un capacitor en paralelo con la carga  $R_1$  podemos obtener un voltaje muy cercano al voltaje constante.

Durante el tiempo en que el voltaje pasa de cero hasta su voltaje máximo  $U_{max}$  el diodo conduce y el capacitor se carga, después cuando el voltaje pasa desde el voltaje máximo  $U_{max}$  a cero el capacitor se descarga a través de  $R1$ , si el tiempo de descarga ( $t_{discharge}$ ) es lo suficientemente largo, mayor que el periodo de la onda, el voltaje de salida resulta ser casi constante. [29]

Por lo tanto si  $t_{discharge} = R1 * C1$ , es necesario que:

$$R1 * C1 \gg T = \frac{1}{f}$$

De lo cual deducimos que

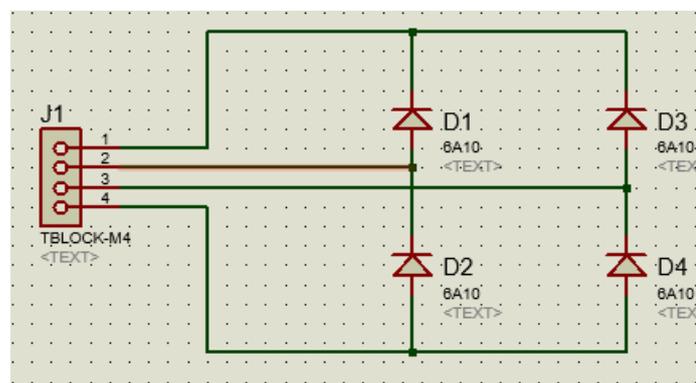
$$C1 \gg \frac{1}{(R1 * f)} \quad (4.1)$$

Donde  $f$  representa la frecuencia del voltaje de entrada.

Los voltajes de salida para  $C1 \gg T = \frac{1}{f}$  y para  $C1 = \frac{1}{(R1 * f)}$  son representados en la figura 4.1 respectivamente.

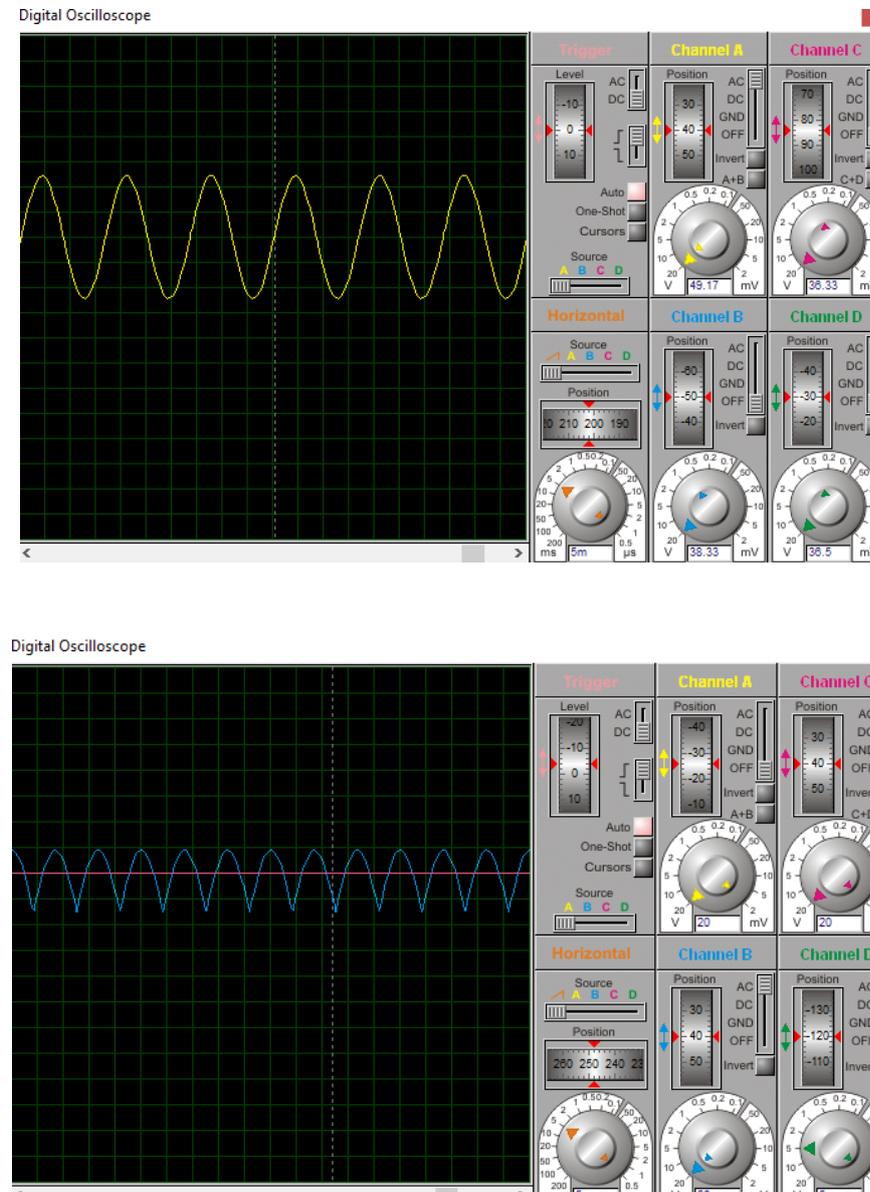
#### 4.6.1.2. Rectificación de onda completa

El rectificador de onda completa es usado durante el periodo total del voltaje de entrada, reduce considerablemente el voltaje de rizo y mejora el voltaje de salida continuo. Considere por ejemplo el circuito de la figura 4.2, donde el voltaje de salida del generador  $U_i$  es aplicado a los puntos 1 y 2. En esta situación el diodo  $V1$  está directamente polarizado y el diodo  $V2$  inversamente polarizado, de forma que la corriente fluye a través de  $V1$  y la carga resistiva  $R1$ , cuando la polaridad cambia el diodo  $V2$  conduce. [30]



**Figura 4.2:** Rectificador de onda completa

En esta configuración ambas medias ondas son usadas pero como una amplitud:  $\frac{U_{imax}}{\pi}$  como se muestra en la figura 4.3.



**Figura 4.3:** Visualización de las ondas del rectificador monofásico

Para esta configuración se supone que podemos obtener factores de rizo más bajos y que cada diodo tiene que soportar un voltaje inverso igual a  $U_{imax}$ , que es aproximadamente igual al voltaje doble continuo de salida.

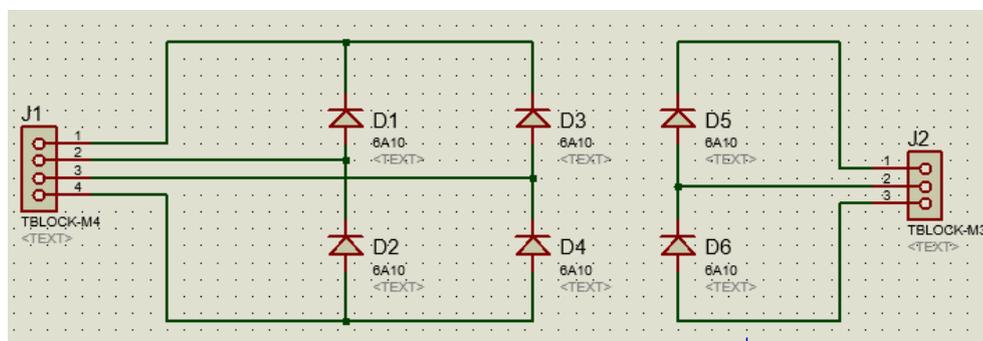
De tal manera que en la salida obtenemos una forma de onda rectificada, cuyo valor medio es el doble del valor medio del rectificador de media onda.

$$U_{aw} = \frac{2U_{imax}}{\pi} = 0.6U_{imax} \quad (4.2)$$

La frecuencia de la señal en la carga es el doble de la que obtendríamos con un rectificador de media onda y en este caso es posible hacer que la forma de onda de salida sea mucho más continúa usando un capacitor de valor apropiado. También es posible realizar este tipo de rectificador utilizando un puente de diodos. [31]

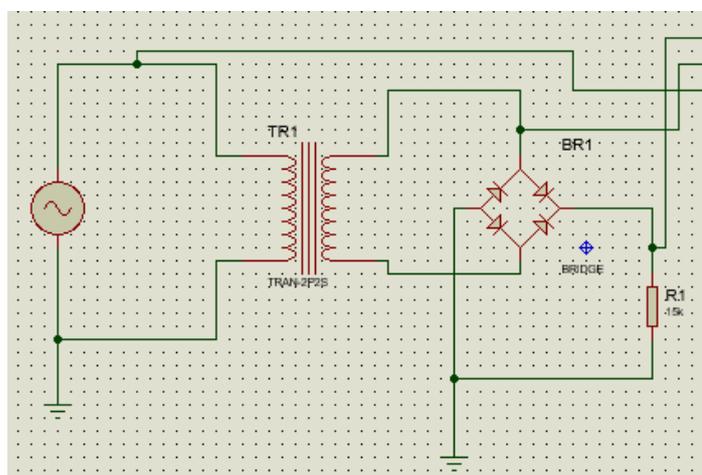
#### 4.6.1.3. Rectificador de puente de diodos

Utilizaremos el circuito mostrado en la figura 4.6. Conocido como rectificador de puente de diodos.



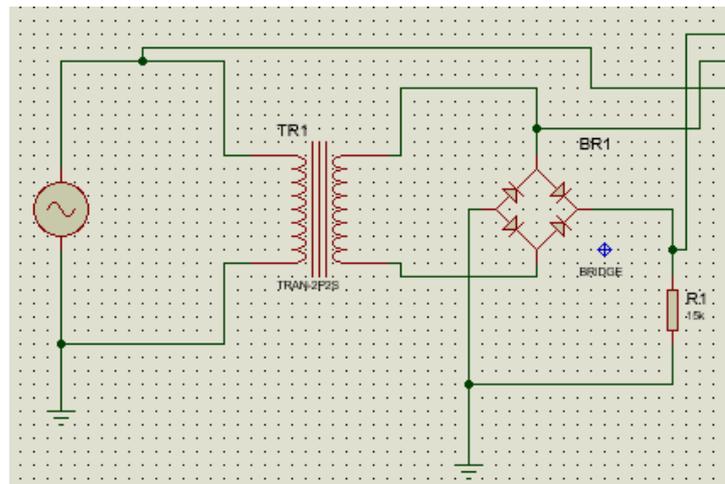
**Figura 4.4:** Rectificador tipo puente

Cuando el punto 1 está en el potencial positivo, el flujo de la corriente pasa a través del diodo D1 que se encuentra directamente polarizado y la carga resistiva R1 para ir a través del diodo D3 hacia el transformador como se muestra en la figura 4.7 los diodos D2 y D4 no conducen ya que se encuentran polarizados inversamente.



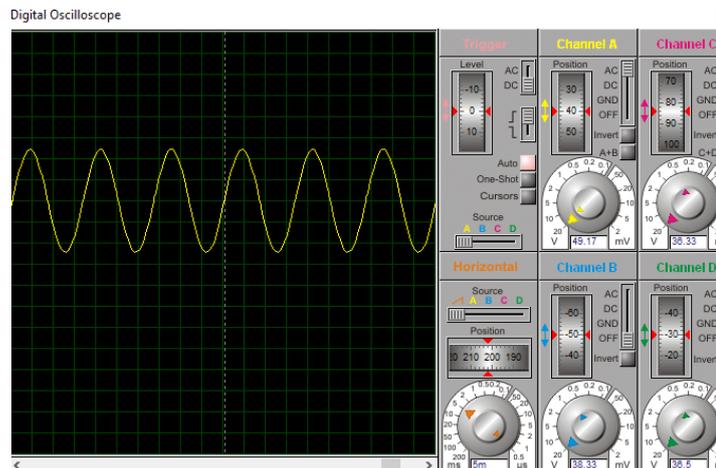
**Figura 4.5:** Trayectoria de la corriente semiciclo positivo  
**Fuente:** [31]

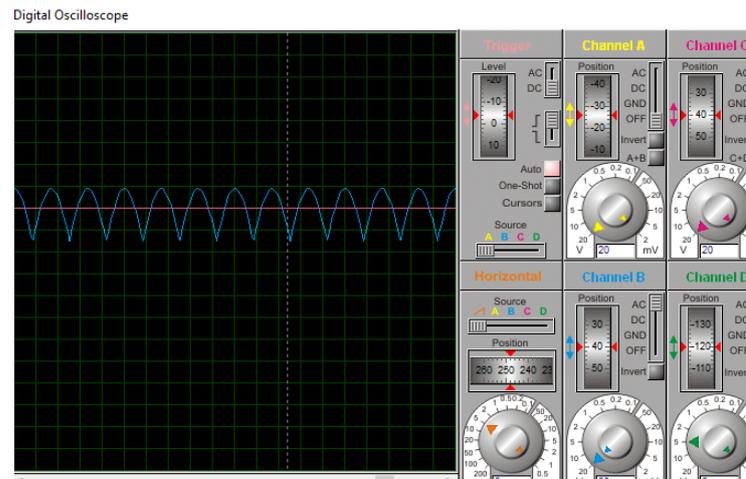
Por otro lado, tenemos el caso contrario, cuando el punto 2 esta al potencial positivo y la corriente fluye a través de diodo V2, la carga resistiva R1 y el diodo V4 como se muestra en la figura 4.8, los diodos V1 yV3 no conducen porque se polarizaron inversamente. La carga resistiva R1 es atravesada por la corriente siempre en la misma dirección y en este caso también se obtiene una onda rectificada que puede ser hecha continúa a través de un capacitor.



**Figura 4.6:** Trayectoria de corriente semiciclo negativo  
**Fuente:** [31]

Observamos la representación de los diagramas en la figura 4.7





**Figura 4.7:** Formas de onda de salida del rectificador

En un rectificador de onda completa, con un capacitor de capacidad apropiada,  $U_{mdc}$  tiene un valor muy cercano al voltaje pico rectificador  $U_{imax}$ .

$$U_{mdc} = \left(1 - \frac{0.005}{R1C1}\right) U_{imax} \quad (4.3)$$

De manera que  $U_{mdc} = U_{imax}$

La selección apropiada del capacitor se efectúa de la siguiente manera:

$$r = \frac{U_{ref}}{U_{av}} = \frac{1}{2\sqrt{3}fR1C1} \quad (4.4)$$

En el caso de un rectificador de onda completa  $f = 120\text{Hz}$ , que es doble de la frecuencia de la potencia de línea el rizo será.

$$r = \frac{0.003}{R1*c} \quad c1 = \frac{0.003}{R1*r} \quad (4.5)$$

Como se mencionó anteriormente, la corriente que fluye en los diodos de un rectificador con un voltaje suavizado por medio de un capacitor, está compuesto por una serie de pulsos que en caso de corrientes altas son consideradas como elementos importantes en la selección del tipo de rectificador.

## 4.7. Análisis de rectificadores trifásicos.

### 4.7.1. Corriente alterna.

La función de la corriente alterna senoidal con respecto al tiempo se representa con la siguiente ecuación:

$$v(t) = V_p * \sin(\omega t + \theta) \quad (4.6)$$

Donde:

$V_p$ : Indica el nivel máximo de voltaje

$\omega t$ : Indica la velocidad angular del voltaje.

$\theta$ : Es el ángulo de desfase con relación a otra señal.

$f$ : Es la nomenclatura de la frecuencia y es la magnitud que calcula el número de repeticiones en un tiempo determinado. La unidad es el Hertzio (Hz).

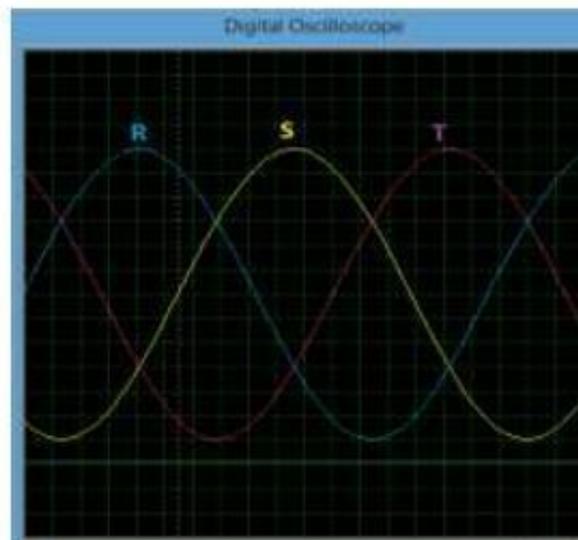
#### 4.7.2. Generación trifásica.

Podemos definir a las fuentes trifásicas de la siguiente manera:

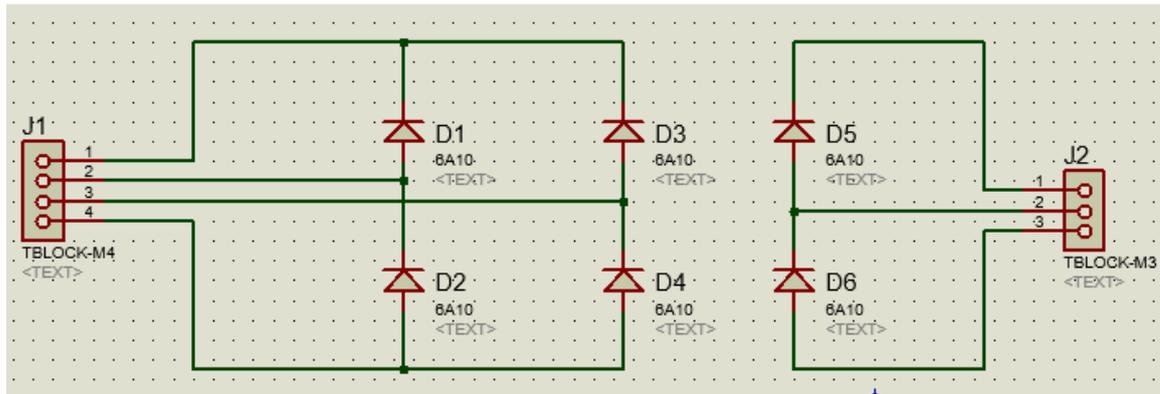
$$\text{Linea 1 (R)} = (t) = V_p = \sin(\omega t)$$

$$\text{Linea 2 (S)} = (t) = V_p = \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$\text{Linea 3 (T)} = (t) = V_p = \sin(\omega t + 240^\circ)$$



**Figura 4.8:** Onda sinusoidal trifásica  
**Fuente:** [6]



**Figura 4.9:** Diagrama esquemático del rectificador trifásico

A continuación, las ecuaciones que explican el funcionamiento del circuito arriba mostrado:  
El voltaje pico de la línea se define como:

$$V_{mL-L} = V_{mfase} \sqrt{3} \quad (4.7)$$

Y el voltaje de salida se expresa en virtud de:

$$V_{out-medio} = V_{mL-L} - \frac{V_{mL-L}}{4 * f * R_{equivalente} * C} \quad (4.8)$$

$$V_{out-ca} = V_{mL-L} - \frac{V_{mL-L}}{4 * \sqrt{2} * f * R_{equivalente} * C} \quad (4.9)$$

#### 4.7.3. Rectificador trifásico totalmente controlado.

El rectificador trifásico cumple con la misma función que un rectificador monofásico, con la diferencia que estos rectificadores son alimentados por fuentes trifásicas, por lo que son más eficientes y pueden manejar grandes potencias, ya que en su salida presentan menor rizado de la señal.

Son utilizados principalmente en la industria para producir voltajes y corrientes continuas que generalmente impulsan cargas de gran potencia, como motores DC.

En el diseño de un rectificador trifásico completamente controlado, se lo divide en 2 partes:

- Circuito de control sincronizado con cada una de las fases.
- Circuito de acoplamiento entre etapa de Control y etapa de Potencia.

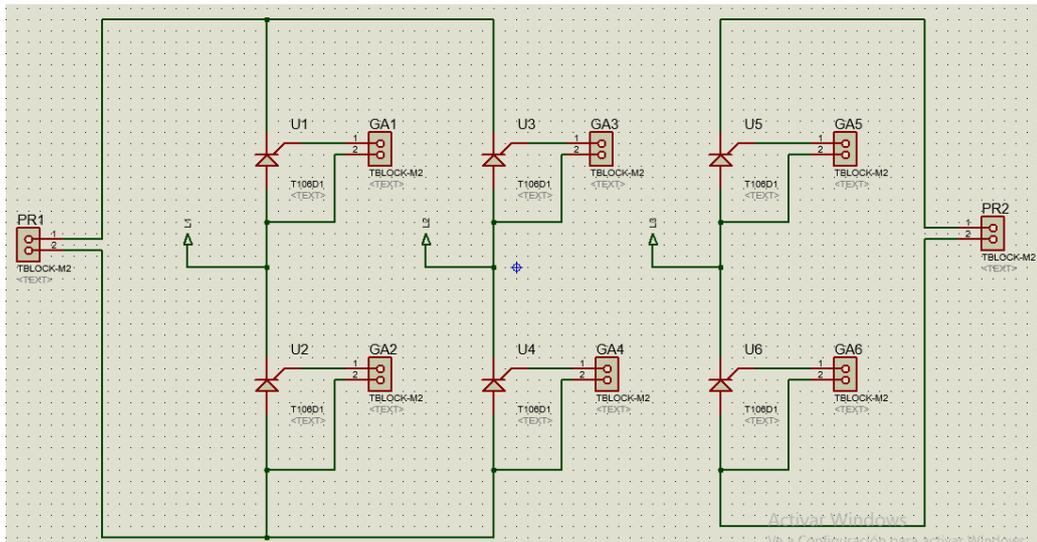


Figura 4.10: Circuito rectificador trifásico

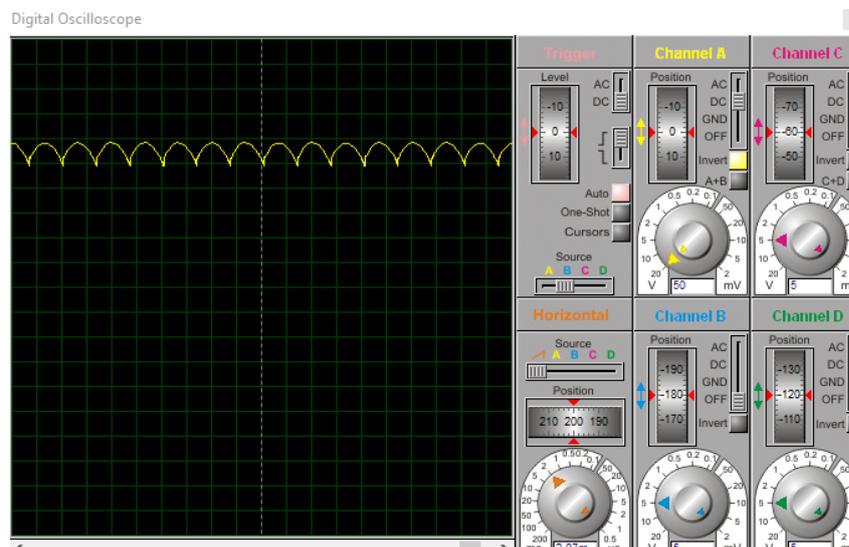
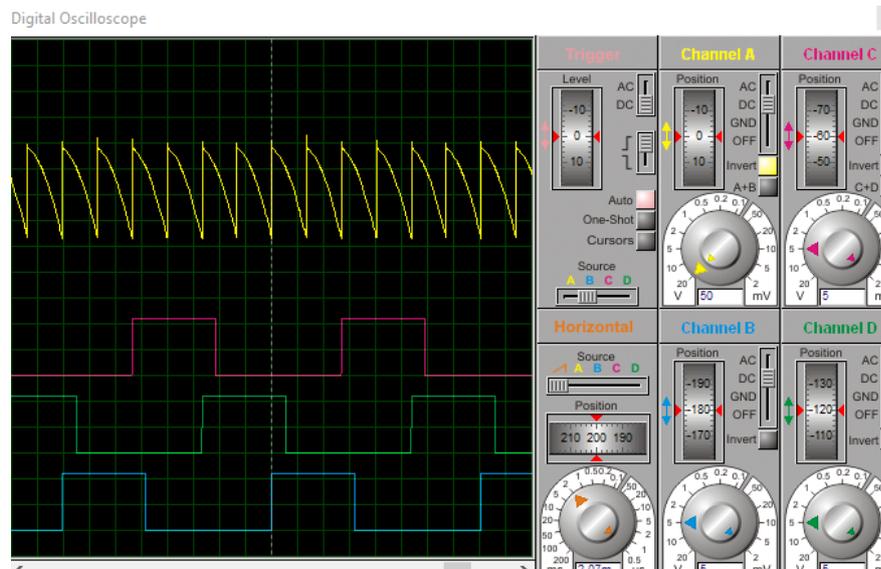


Figura 4.11: Formas de onda del puente rectificador trifásico controlado.

#### 4.7.3.1. Formulas del rectificador de onda completa.

Circuito del rectificador trifásico de onda completa, controlados mediante los pulsos de los SCR's y carga resistiva. Los voltajes de línea a neutro se definen con la siguiente ecuación:

$$V_{an} = V_m * \sin wt \quad (4.10)$$

$$V_{bn} = V_m * \sin \left( wt - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (4.11)$$

$$V_{cn} = V_m * \sin \left( wt + \frac{2\pi}{3} \right) \quad (4.12)$$

Los voltajes de línea a línea se definen por:

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = \sqrt{3}V_m \sin \left( wt + \frac{\pi}{6} \right) \quad (4.13)$$

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = \sqrt{3}V_m \sin \left( wt + \frac{\pi}{2} \right) \quad (4.14)$$

$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} = \sqrt{3}V_m \sin \left( wt - \frac{\pi}{2} \right) \quad (4.15)$$

El voltaje promedio de salida se determina mediante la siguiente ecuación:

$$V_{cc} = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} V_{ab} d(wt) = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} \sqrt{3}V_m \sin \left( wt + \frac{\pi}{6} \right) d(wt)$$

$$V_{cc} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \cos \alpha \quad (4.16)$$

La máxima tensión promedio de salida, para el ángulo de retraso  $\alpha=0$  es:

$$V_{dm} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \quad (4.17)$$

Y la tensión promedio de salida normalizada es

$$V_n = \frac{V_{cd}}{V_{dm}} = \cos \alpha \quad (4.18)$$

El voltaje rms de salida se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_{RMS} = \left[ \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\alpha} (V_m)^2 \sin^2 \left( wt + \frac{\pi}{6} \right) d(wt) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{3} * V_m \left( \frac{1}{2} * \frac{3*\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.19)$$

Para rectificadores trifásicos onda completa

$$V_oDC = \frac{3 * \sqrt{3}}{\pi} * V_{fase\max}$$
$$V_oDC = \frac{3 * \sqrt{3}}{\pi} * \sqrt{2} * V_{fase\max}$$
$$V_oDC = \frac{3}{\pi} * V_{LL\max}$$

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 5.1. Fases del proyecto.

Para la selección de los semiconductores de potencia es necesario establecer los parámetros máximos de corriente y tensión de entrada y salida de operación del prototipo. La corriente y la tensión de entrada para los rectificadores, es suministrada por la red del laboratorio de electrónica de potencia de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, cuyas características se muestran en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1:** Características eléctricas

Parámetro	Valor
Tensión de línea(rms)	120V
Corriente máxima de salida(rms)	3A
Potencia	700W

**Fuente:** Autores

#### 5.1.1. Resistencia de carga mínima.

La resistencia mínima se determina a partir de los rectificadores a implementar y de las condiciones nominales de potencia. La Ecuación 5.1 muestra el cálculo de la resistencia mínima de carga en función, de la tensión máxima de fase y la corriente de salida con un margen de seguridad del 30%, lo que corresponde al cálculo para el peor de los casos, como se muestra en la Ecuación 5.2.

$$R_{Lmin} = \frac{V_m}{I_{Lrms}} \quad (5.1)$$

$$R_{Lmin} = \frac{169.7}{3A} \quad R_{Lmin} = 56\Omega$$

$$R_{Lmin} = 100\Omega$$

$$I_{Lmin} = 5 - (5 * 0.3) \quad (5.2)$$

$$I_{Lmin} = 3A$$

### 5.1.2. Tensión Y Corriente De Salida.

Para establecer los parámetros de corriente y tensión de operación de los semiconductores, se realiza un análisis de puentes rectificadores monofásicos y trifásicos a implementarse.

#### 5.1.2.1. Rectificador monofásico tipo puente.

La Figura 5.1 muestra el diagrama esquemático de un rectificador tipo puente de onda completa y la tensión de salida RMS se describe en la Ecuación 5.3.



**Figura 5.1.** Banco de diodos para rectificador monofásico.

$$V_o = \left[ \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(wt) d(wt) \right]^{1/2} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (5.3)$$

La corriente promedio de salida para el rectificador de onda completa monofásico para cargas netamente resistivas es la tensión de salida  $V_o$  dividida entre la resistencia de carga.

Con la tensión de fase entregada y la resistencia de carga mínima de la Ecuación 5.1, se calcula la tensión RMS de salida para un puente rectificador de onda completa monofásico.

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 120V \quad (5.4)$$

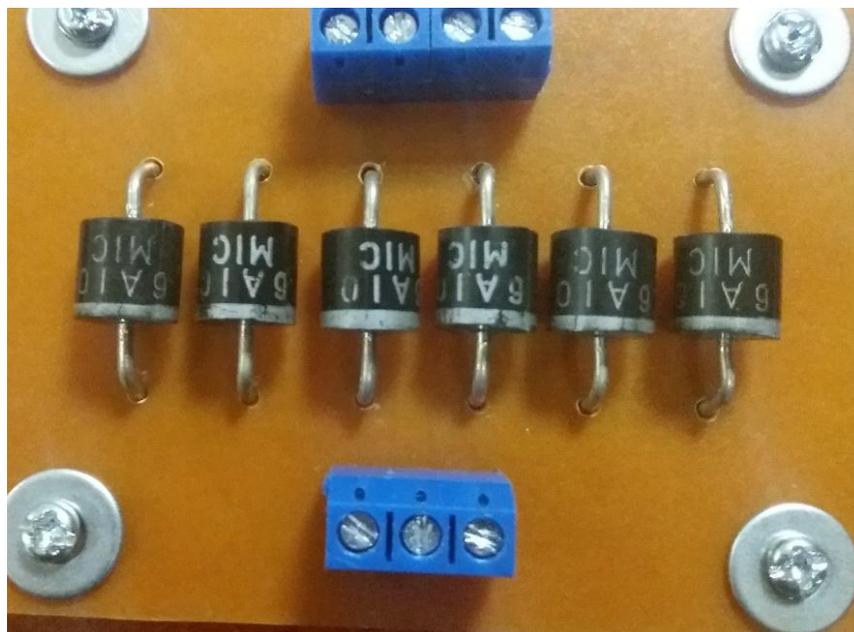
$$I_{RMS} = \frac{V_{rms}}{R} = 2.14A \quad (5.5)$$

Los diodos rectificadores en un puente rectificador monofásico de onda completa, sólo conducen la mitad del periodo de la señal de tensión de entrada, por lo que la corriente promedio a través del diodo es:

$$I_{DRMS} = \frac{I_{RMS}}{2} = 1.07A \quad (5.6)$$

### 5.1.2.2. Rectificador trifásico.

En la Figura 5.3 se muestra un rectificador trifásico tipo puente de onda completa, la tensión de salida promedio está dada por la Ecuación 5.7.



**Figura 5.3:** Banco de diodos para rectificador trifásico.

$$V_o = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} V_{mL} \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3V_{mL}}{\pi} \quad (5.7)$$

Donde  $V_{mL}$  es la tensión máxima de línea, para transformadores con conexión en estrella la tensión de línea  $V_{mL}$ , es  $\sqrt{3}$  veces la tensión de fase.

La tensión y corriente DC de salida del puente rectificador trifásico de onda completa se muestran en las Ecuación 5.8 y Ecuación 5.9 respectivamente, los cálculos se realizaron con los parámetros de tensión de línea de la Tabla 5.1 y con la resistencia máxima de carga de la Ecuación 5.1.

$$V_o = \frac{3V_{mL}}{\pi} = 279.75V \quad (5.8)$$

$$I_o = \frac{279.75V}{56\Omega} = 4.99A \quad (5.9)$$

Cada diodo conduce durante un tercio del periodo de la señal de tensión de entrada, la Ecuación 5.10 muestra la corriente que circula a través del diodo.

$$I_D = \frac{I_o}{3} = 1.66A \quad (5.10)$$

## 5.2. Selección De Semiconductores.

La selección de semiconductores, se realizó con base en las características de corriente y tensión máxima de operación de los diodos y SCRs en los rectificadores del prototipo. La tabla 5.2 muestra los parámetros seleccionados.

**Tabla 5.2:** Parámetros de selección de los semiconductores.

Parámetro	Valor
$V_{RRM}$	203V
$I_T(AV)$	1.66A

**Fuente:** Autores

Dónde:

$V_{RRM}$  = (Maximum reverse peak voltage). Voltaje pico máximo en inverso.

$I_T(AV)$  = (Maximum average forward current). Corriente máxima promedio en directo.

Para la corriente máxima en directo, se toma la corriente en el diodo para un puente rectificador trifásico de onda completa, que es la corriente máxima en los rectificadores. El máximo pico de tensión en inverso será el valor de tensión máxima de línea suministrada (Tabla 5.1). Además de los parámetros anteriormente expuestos se tiene en cuenta el tipo de encapsulado. Para diodos y SCRs se seleccionaron los encapsulados R-6 y TO-220.

### 5.2.1. Diodos.

Para la selección de los diodos de potencia utilizados en el prototipo, se realizó una búsqueda de estos con los fabricantes de los semiconductores. La Tabla 5.3 reúne los diodos consultados que mejor se ajustan a las especificaciones descritas en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.3:** Lista de diodos consultados.

Referencia	Fabricante	$V_{RRM}$ Voltaje máximo en inverso	$I_F$ Corriente promedio (AV)	Encapsulado
IR-1N3881-ND	International rectifier	200V	3A	DO-203AA
VS-1N3881R	Vishay Semiconductor	200V	6A	DO-203AA
GI1403-E3/45	Vishay Semiconductor	150V	6A	DO-203AA
IR-6FLR20S	International rectifier	200V	6A	DO-203AA
6A10-Mic	DC Components	1000V	6A	R-6

**Fuente:** Autores

Todos los diodos seleccionados en la Tabla 5.3 cumplen con los requerimientos del prototipo, las referencias IR-1N3881-ND y VS-1N3881R solo se comercializan en paquetes de 100 unidades, por el elevado costo se descarta para la aplicación. Se eligió el diodo 6A10-Mic semiconductor por su alta disponibilidad y bajo costo en el mercado nacional. En la Tabla 5.4 se encuentran las principales características del diodo seleccionado para el prototipo. Además, en el anexo N° 3 se encuentran las hojas de especificaciones para información más detallada.

**Tabla 5.4:** Características eléctricas y térmicas diodo 6A10.

Parámetros	6A10.
$I_F(AV)$ Corriente máxima promedio en directo	6A
$V_{RRM}$ Voltaje pico máximo en inverso.	1000 V

**Fuente:** Autores

### 5.2.2. SCRs.

Para la selección de los SCRs utilizados en la implementación de rectificadores controlados y semicontrolados, se utilizan los parámetros de la Tabla 5.2. La Tabla 5.5 muestra los SCRs consultados en tiendas online nacionales e internacionales especializadas en venta de componentes electrónicos que más se ajustan a los requerimientos.

**Tabla 5.5:** Lista de SCR's consultados.

Referencia	Fabricante	$V_{RRM}$ Voltaje máximo en inverso	$I_F$ Corriente promedio (AV)	Encapsulado
BT-151	Unisonic Technologies	600V	12A	TO-220AA
2N5204-ND	Vishay Semiconductor	600V	10A	TO-208AA
22RIA20-ND	Vishay Semiconductor	200V	22A	TO-208AA
IR-2N684	International rectifier	150V	15A	TO-208AA
CS23-08IO2	IXYS	800V	32A	TO-208AA

**Fuente:** Autores

Realizadas las cotizaciones, se descartaron las referencias 22RIA20-ND y 2N5204-ND debido a que el fabricante solo comercializa por paquetes de 50 unidades, otras referencias como IR-2N684 y CS23-08IO2 se descartaron por su poca disponibilidad en el mercado. Finalmente se eligió el SCR BT-151 debido a que se ajusta a los requerimientos y tiene un bajo costo. Las principales características se describen en la Tabla 5.6. Para información más detallada en el anexo N° 4. Se encuentran las hojas de especificaciones.

**Tabla 5.6:** Características eléctricas y térmicas del SCR BT-151.

Parámetros	SCR BT-151.
$I_F(AV)$ Corriente máxima promedio en directo	7.5A
$I_F(RMS)$ Corriente máxima RMS en directo	12A
$V_{RRM}$ Voltaje pico máximo en inverso.	600V
Máximo $I^2 t$ para fusibles	233 A <sup>2</sup> s
$R_{th JC}$ Resistencia térmica de la junta a la carcasa	1.85 °C/W
$R_{th CS}$ Resistencia térmica de la carcasa	0.35°C/W
$I_H$ Corriente de sostenimiento	50mA

**Fuente:** Autores

### 5.2.3. Selección de los elementos de la etapa de control.

Para el cálculo de los elementos de parte de control procedemos de la siguiente manera:

Sabes que tenemos 120 de voltaje pico entonces utilizamos la siguiente fórmula para el cálculo del voltaje RMS

$$V_{Rms} = \sqrt{2}V_f - V_L \quad (5.11)$$

La corriente máxima del será mayor o igual a 20mA y para el cálculo tomamos como referencia 12 mA, reemplazamos la ecuación 5.11 en la ecuación 5.12 para obtener el valor de la resistencia.

$$R = \frac{V_{Rms}}{I_R} = \frac{\sqrt{2}V_f - V_L}{I_R} \quad (5.12)$$
$$R = \frac{120 * \sqrt{2} - 1.5V}{12mA} \quad R = 14.01K\Omega$$
$$R = 15K\Omega$$

Se le selecciona la resistencia de 15 K valor que más se acerca al calculado,

También podemos calcular la potencia que requiere la resistencia.

$$P_R = I^2 * R \quad (5.13)$$
$$P_R = (12mA)^2 * 15k\Omega$$
$$P_R = 2W$$

Ahora calcula el valor de resistencia para proteger los opto acopladores

Sabemos que del micro sale 5V y la corriente del diodo de 15mA, entonces procedemos a calcular las respectivas resistencias de entada y salida utilizando la ecuación 5.12 con la diferencia que trabajamos ya en corriente continua.

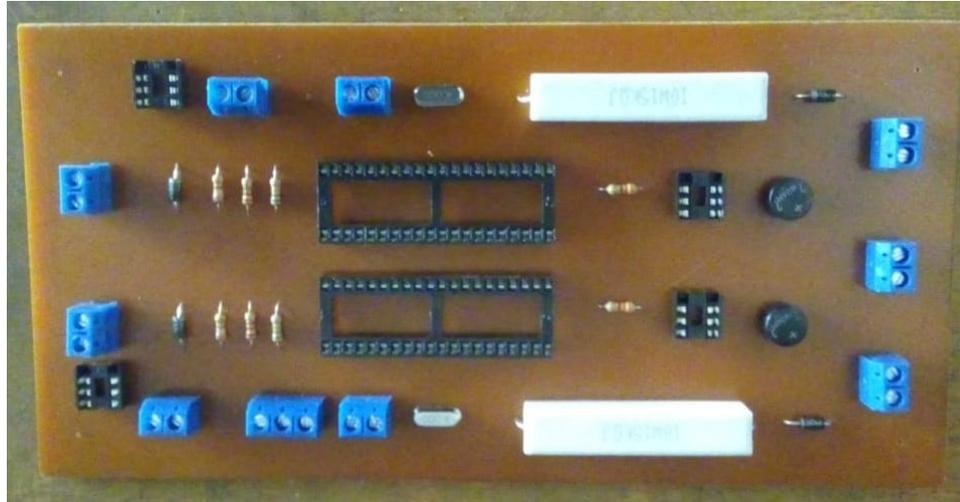
$$R_1 = \frac{V_f - V_L}{I_R}$$
$$R_1 = \frac{5V - 1.5V}{15mA} \quad R_1 = 233\Omega$$
$$R_1 = 220\Omega$$

El valor de la resistencia más estandarizado es d 220  $\Omega$  para la entada al opto acoplador.

Calculados el valor de la resistencia de salida con la ecuación 5.12 para el cual tenemos el valor de voltaje de salida de 3V.

$$R_2 = \frac{V_{Rms}}{I_R} = \frac{\sqrt{2}V_f - V_L}{I_R}$$

$$R_2 = \frac{120 * \sqrt{2} - 3V}{40mA} \quad R_2 = 4.16 K\Omega$$
$$R_2 = 3.9 K\Omega$$



**Figura 5.5:** Placa de circuito de control

Los detalles de los elementos de control que se selección se detalla en el anexo 5  
Así como el valor de las resistencias y sus especificaciones se lo detalla de manera específica en el anexo 6.

#### 5.2.4. Pic 16F877A.

En este proyecto se utilizó el PIC 16F877. Este micro controlador es fabricado por MicroChip familia a la cual se le denomina PIC. El modelo 16F877 posee varias características que hacen a este microcontrolador un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en la aplicación que posteriormente será detallada.

Algunas de estas características se muestran a continuación:

- Soporta modo de comunicación serial, posee dos pines para ello.
- Amplia memoria para datos y programa.
- Memoria reprogramable: La memoria en este PIC es la que se denomina FLASH; este tipo de memoria se puede borrar electrónicamente (esto corresponde a la "F" en el modelo).
- Set de instrucciones reducidas (tipo RISC), pero con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo.

**Tabla 5.7:** En siguiente tabla de pueden observar las características más relevantes del dispositivo:

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>16F877</b>
Frecuencia máxima	DX-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones RAM de datos	368
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de CAD de 10 bits	8
Longitud de la instrucción	14 bits

**Fuente:** Autores

#### **5.2.4.1.Pasos para programar el Pic.**

Los pasos indicados son los que se deben seguir normalmente para crear proyectos:

- Iniciar el programa mikroC PRO for PIC y crear un nuevo proyecto: Project > New Project. Clic en Next
- Seleccionar el PIC16F628A en el campo Device Name. Clic en Next
- Establecemos la frecuencia de trabajo del microcontrolador en Device Clock. Se trabajar con una frecuencia de 4MHz y ese es el valor que usamos. Clic en Next
- Crear una carpeta (folder) para el nuevo proyecto.
- En el siguiente paso solo hacemos clic en Next

- Un paso absolutamente necesario e imprescindible es establecer los bits de configuración del microcontrolador PIC. Por lo tanto en este paso seleccionamos el checkbox Open Edit Project Window to set Configuration Bits. Clic en Finish.
- En la ventana Edit Project establecemos los bits de configuración de la siguiente manera y hacemos clic en OK:  
Oscillator: INTOSC: I/O on RA6/OSC2, I/O on RA7/OSC1.  
Watchdog Timer: Off.  
Power Up Timer: Enabled  
Master Clear Enable: Disabled  
Brown Out Detect: Enabled  
Low Voltage Program: Disabled  
Data EE Read Protect: Disabled  
Code Protect: Off
- Aparece la ventana del editor de texto, donde escribiremos el código fuente de nuestro proyecto
- Una vez terminada la escritura procedemos con la compilación. Este proceso es transparente para nosotros. Para compilar debemos seleccionar el comando Build > Build. El código de máquina o código ejecutable se guarda automáticamente en un archivo en la carpeta Contador que creamos.
- El código de máquina Contador.hex tiene que ser grabado en la memoria de programa del microcontrolador PIC de tal forma que al encenderlo ejecute las instrucciones indicadas en dicho código, de no ser así el microcontrolador PIC sería un dispositivo que no serviría para nada ya que su memoria de programa se encuentra en blanco cuando sale de fábrica. El proceso de grabado se realiza por medio de un programador tal como el PICkit2.
- El último paso es armar el circuito eléctrico.
- Como recomendación importante se sugiere agregar un condensador cerámico de 0.1uF entre los pines de alimentación del PIC, lo cual ayudara a eliminar posibles problemas ocasionados por las fluctuaciones rápidas de la fuente de alimentación.

### 5.3.Montaje de la estructura.

Para una mejor fijación y facilidad de adquisición se utilizó un gabinete metálico.

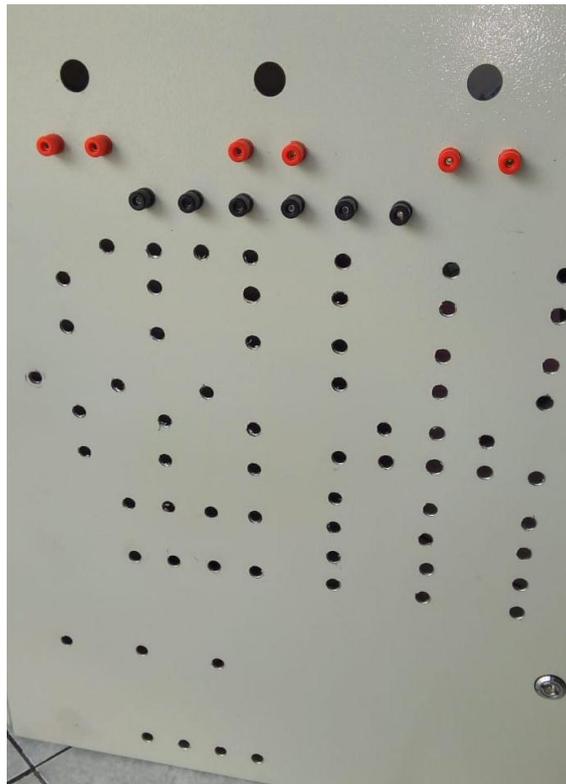
#### 5.3.1. Reporte fotográfico.



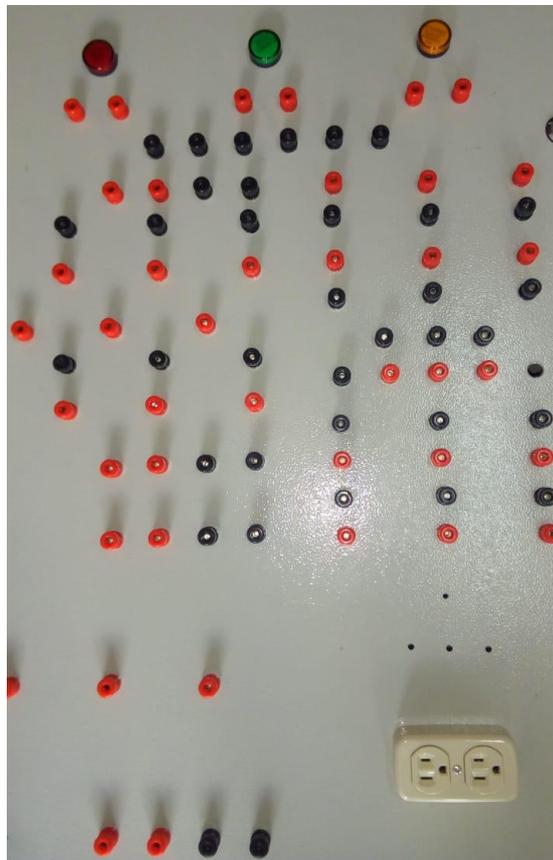
**Figura 5.6:** Gabinete metálico del modulo



**Figura 5.7:** Perforación para la instalación de las borneras



**Figura 5.8:** Instalación de las borneras.



**Figura 5.9:** Vista del panel frontal con borneras.

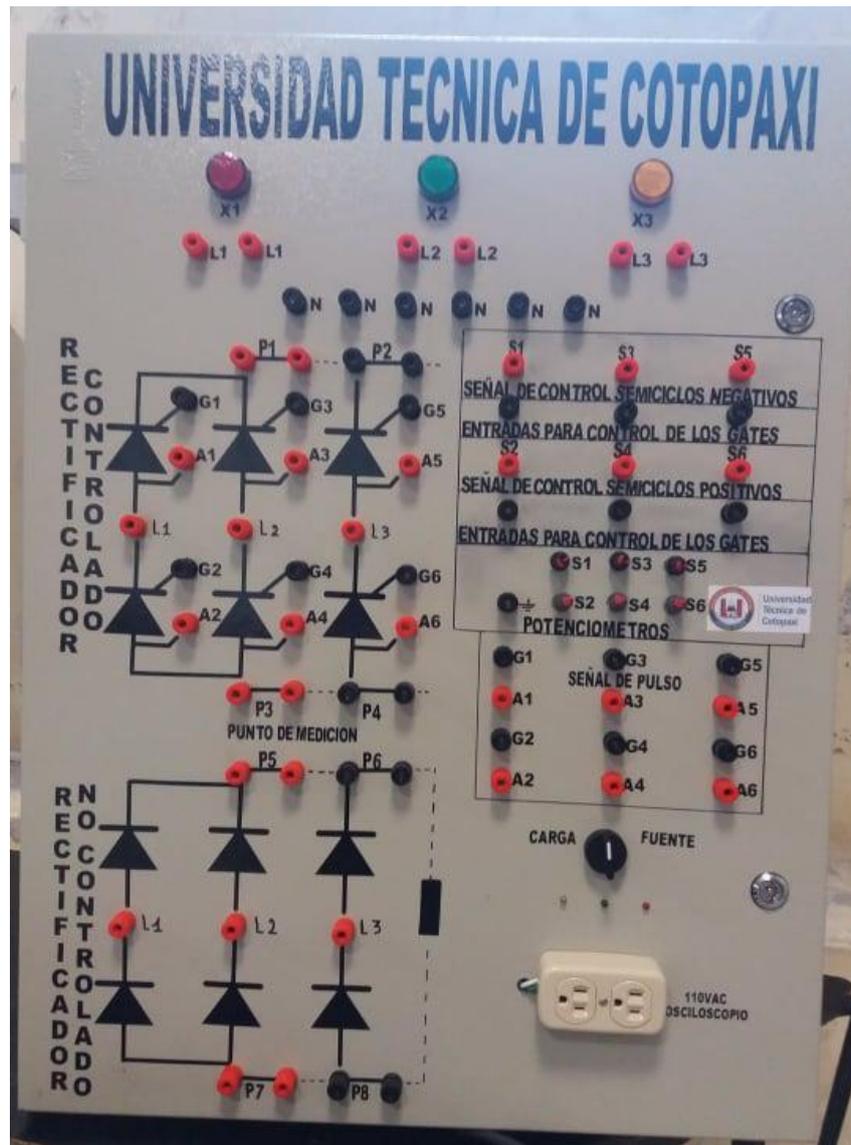


Figura 5.10: Vista final del panel frontal

### 5.3.2. Diseño y montaje del circuito rectificador no controlado.

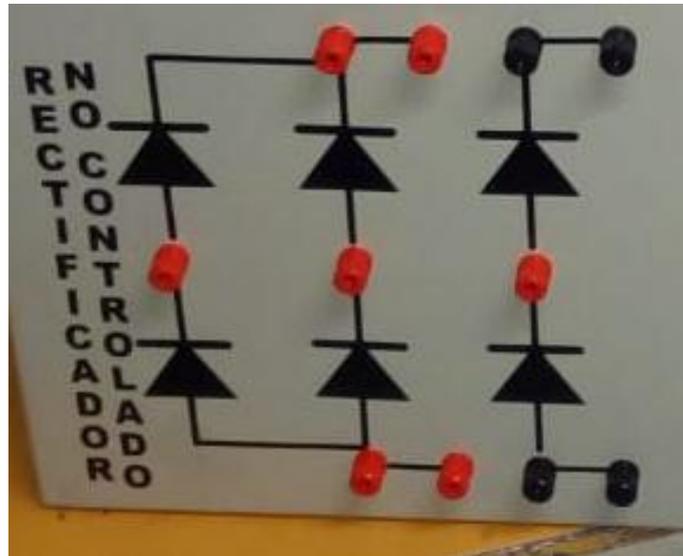
Para la selección de los diodos rectificadores se tomó en cuenta el parámetro del voltaje máximo que puede soportar estos elementos, también la corriente máxima de conducción, los parámetros como temperatura de operación.

Tomando en consideración todo lo anterior, se utilizó el 6A10-Mic, dispositivo encapsulado que soporta un voltaje de 1000V y una corriente de 6A.

Estos tienen conectados dos borneras en cada uno de sus extremos y además están expuestos en el panel frontal para realizar las conexiones de acuerdo a la práctica solicitada.

Implementando adicionalmente la señalización del puente de diodos para su observación y facilidad para realizar las practicas deseadas.

Incorporando una señalización de color negro.



**Figura 5.11:** Distribución de los diodos

### 5.3.3. Diseño y montaje del circuito rectificador con SCRs.

Este consta de una fuente dc con un potencial totalmente controlado. Su selección se basa en lo siguiente.

**Tabla 5.7:** Características eléctricas y térmicas del SCR BT-151.

Parámetros	SCR BT-151.
$I_F(AV)$ Corriente máxima promedio en directo	7.5 A
$I_F(RMS)$ Corriente máxima RMS en directo	12 A
$V_{RRM}$ Voltaje pico máximo en inverso.	600 V

**Fuente:** Autores

Como la corriente máxima que se utiliza es de 3 A y el voltaje de bloqueo  $V_{LL}$  es de 120 entonces estos SCRs cumple con lo que se necesita.

Se encuentran montados de la misma forma que los diodos dispuestos para ser cableados externamente, desde el panel frontal y formar así el rectificador trifásico, lo haremos ahora con los seis tiristores (SCRs) con la diferencia que debemos presentar 6 puntos para tomar la señal de disparo para las compuertas gate

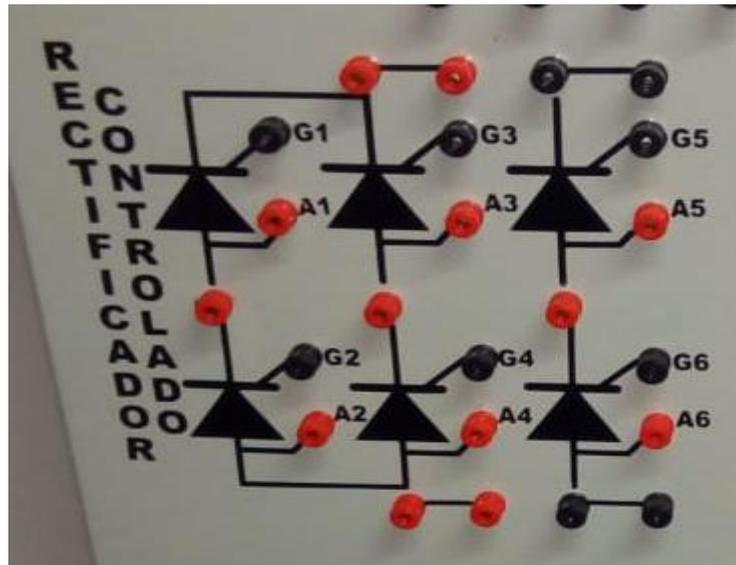


Figura 5.12: Distribución de los SCR.

#### 5.4. Pruebas realizadas.

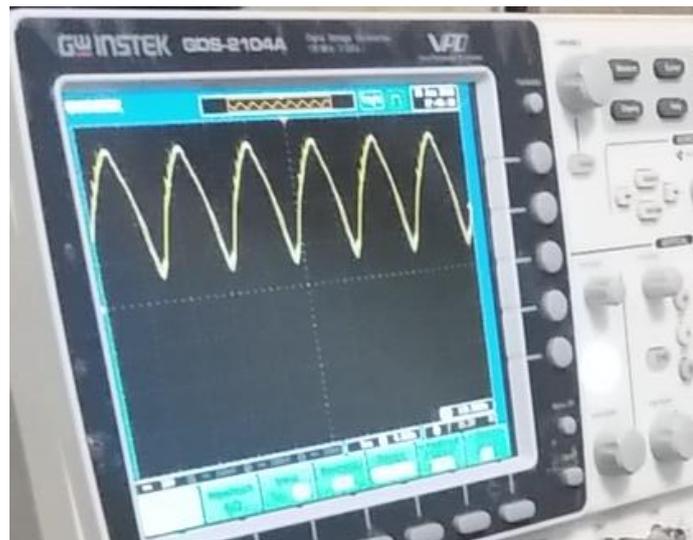
Para la verificación del correcto funcionamiento del prototipo, se realizó la implementación de rectificadores monofásicos y trifásicos no controlados y controlados, Comparando los resultados obtenidos con datos de simulación y medidas de las formas de onda registradas con osciloscopio.

##### 5.4.1. Simulación rectificadora monofásica.

En la Figura 5.13 se muestra el diagrama esquemático del banco de diodos para el rectificador monofásico no controlado.



Figura 5.13: Banco de diodos para rectificación monofásica no controlada



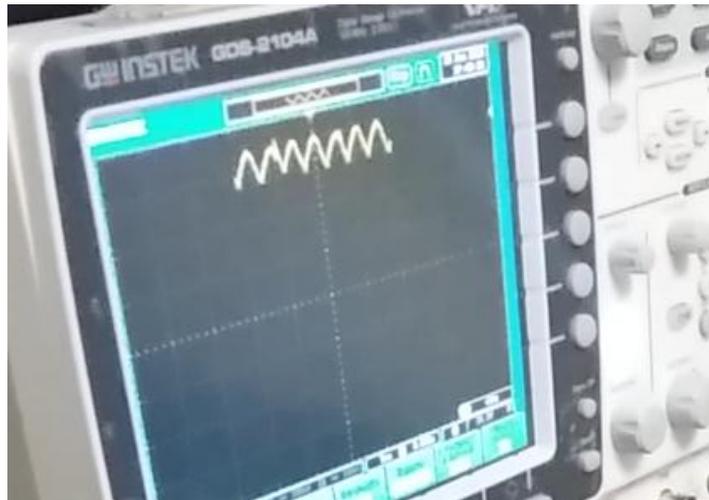
**Figura 5.14:** Simulación del rectificador monofásico no controlado

#### 5.4.2. Simulación rectificadora trifásico tipo puente.

El diseño de la etapa de potencia se basa en la disponibilidad de una alimentación trifásica conectada en estrella con una tensión línea a línea de 215 V, 60 Hz. Se realizó con los parámetros de la Tabla 5.8



**Figura 5.8:** Banco de diodos del rectificador Trifásico.



**Figura 5.15:** Simulación del rectificador trifásico con el osciloscopio

**Tabla 5.8:** Parámetros para la simulación del rectificador Trifásico.

	Parámetro	Valor	Unidades
VR	Tensión de línea de entrada al rectificador	220	$V_{rms}$

Fuente: Autores

Tabla 5.9 contiene los valores de los parámetros del rectificador obtenidos.

**Tabla 5.9:** Valores obtenidos de la simulación del rectificador trifásico de onda completa.

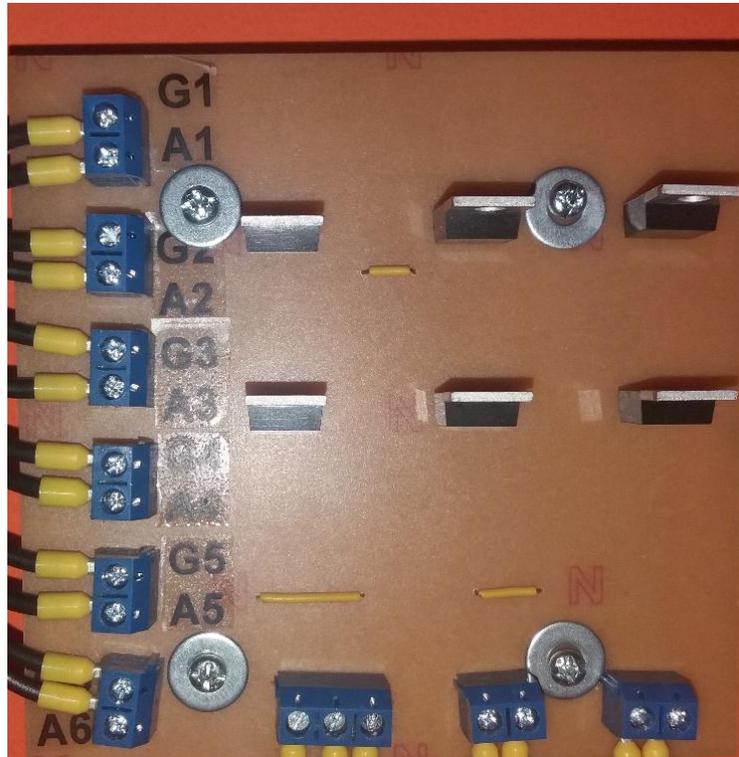
	Parámetro	Valor	
Vs	Tensión de línea entrada al rectificador	RMS	235V
		DC	0V
Vo	Voltaje de salida	RMS	304V
		DC	300V

Fuente: Autores

#### 5.4.3. Circuito de potencia para rectificador monofásico totalmente controlado.

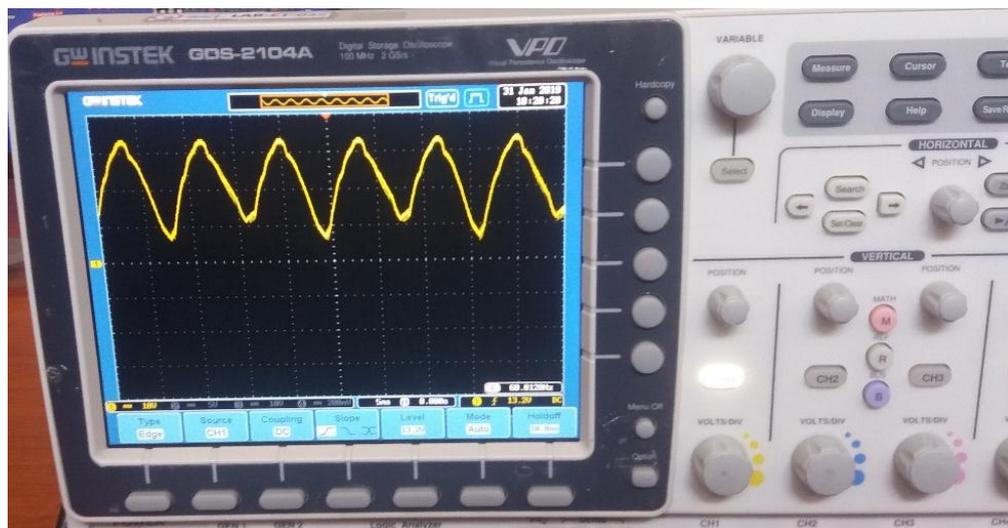
Como se dijo, se debe controlar cada semiciclo de la señal de alterna, por lo que cada salida se encarga de controlar cada uno de los SCR's para su respectivo semiciclo, como vemos cada SCR es disparado por un opto-triac, para aislar la señal de alterna de las salidas del PIC, pues

por seguridad ambas etapas (potencia y control) no deben tener ninguna conexión física. El resto es el circuito de potencia donde R es la carga que se quiera poner. Con esto ya tenemos listo la parte monofásica de módulo en la figura 5.10.



**Figura 5.16:** Circuito de control para el rectificador monofásico

En las siguientes figuras se observan en osciloscopio diferentes señales para los valores de  $\alpha = \min$ ,  $\alpha = \max$ .



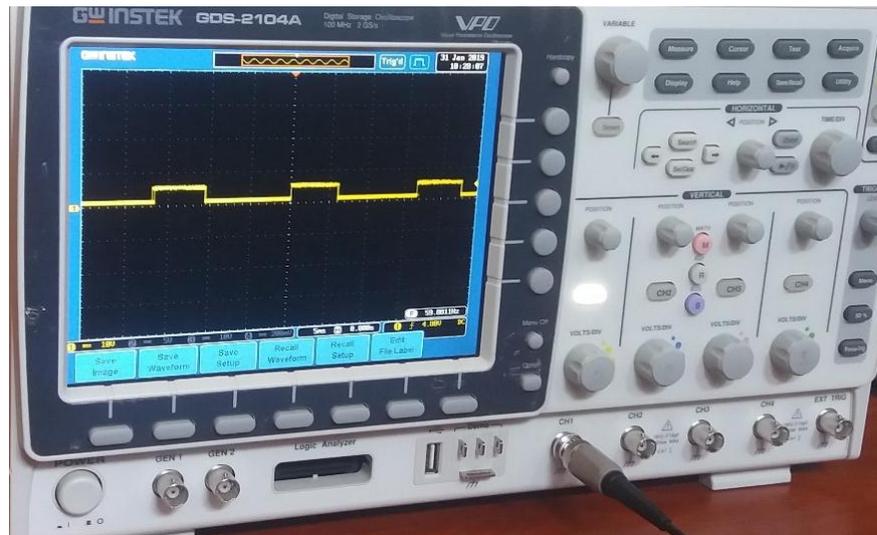


Figura 5.17: Grafica de las ondas del circuito

#### 5.4.4. Implementación rectificadora Trifásico tipo puente.

La implementación del rectificador trifásico de onda completa, se realizó sobre el prototipo utilizando seis módulos de diodos.

Con el fin de verificar las formas de onda de voltaje obtenidas con el prototipo, se realizó la medición de tensión en la carga con un osciloscopio, como se muestra en la Figura 5.9. Finalmente, en la Tabla 5.9 se realiza la comparación los datos obtenidos experimentalmente con los datos de la simulación.

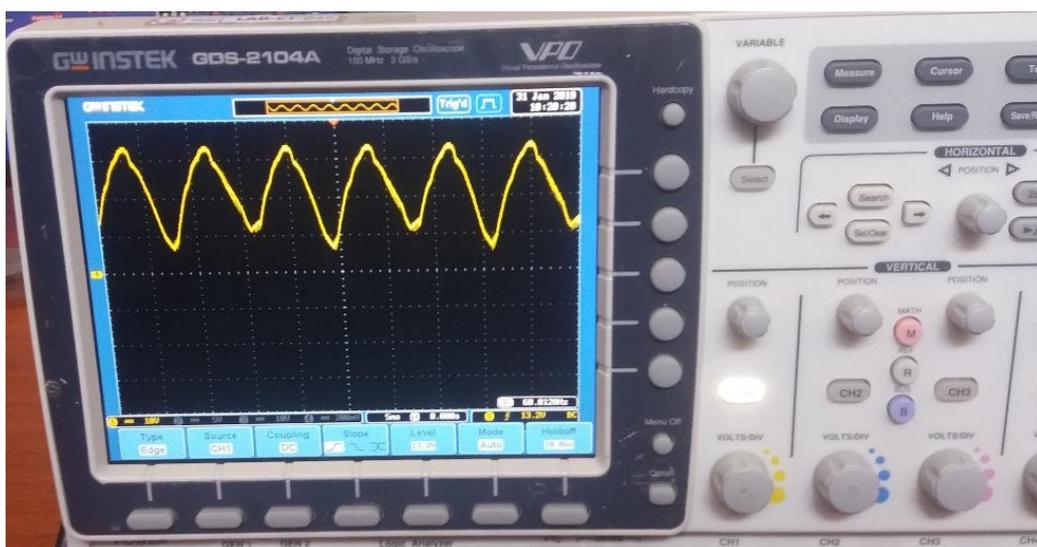


Figura 5.18: Forma de onda de voltaje en la carga del rectificador medida con el osciloscopio

**Tabla 5.10:** Datos obtenidos para el rectificador trifásico de onda completa tanto en simulación como de forma experimental.

Parámetro		Valor	
		Osciloscopio	Simulación
Vs	RMS	234.25V	220V
	DC	0.08V	0V
Vo	RMS	121.15V	120V
	DC	119.54V	120V

Fuente: Autores

#### 5.4.5. Simulación rectificadora trifásico tipo puente controlado.

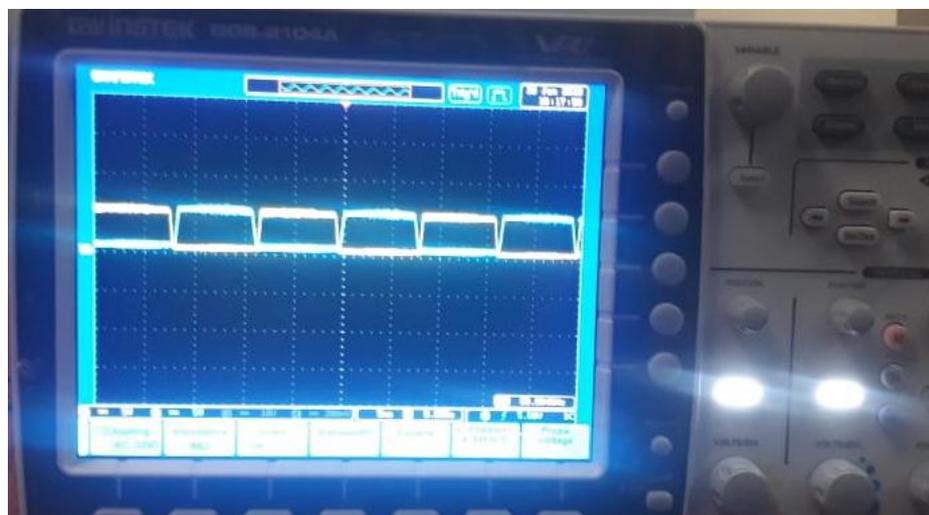
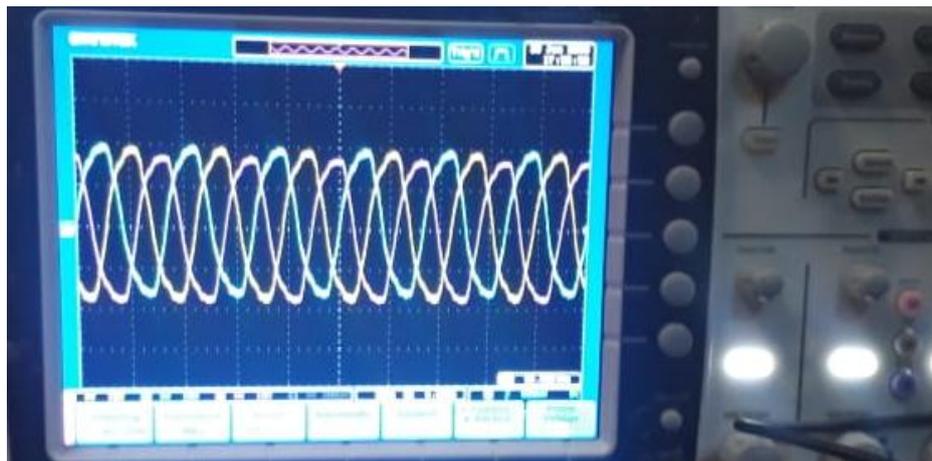
En primera instancia, antes de empezar con el diseño de los circuitos, se debe saber cuál es la configuración que requiere más salidas de control de disparo y qué entradas de sincronismo se necesitan, de manera tal que, partiendo de ella, sirva para los distintos tipos de rectificadores que utilizan menos salidas de control de disparo.

La configuración mencionada es la del Puente Rectificador Trifásico Completamente Controlado, donde se necesita controlar los disparos de 6 tiristores distintos, en donde cada par de tiristores se conecta a una fase, como se ve en la siguiente figura 5.13.

La simulación del rectificador trifásico tipo puente, el diagrama esquemático se muestra en la Figura 5.13. La Figura 5.14 muestra las formas de onda de resultado de la simulación, y una tensión de entrada de línea de 220  $V_{rms}$ , los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.10.



**Figura 5.19:** Diagrama esquemático del puente rectificador trifásico controlado.



**Figura 5.12:** Formas de onda rectificador trifásico controlado vistas en el osciloscopio.

**Tabla 5.11:** Valores obtenidos de la simulación del rectificador trifásico

Parámetro			Valor	
			$\alpha$ =máx.	$\alpha$ =min.
$V_0$	Voltaje de salida	RMS	86.4 V	55.26 V
		DC	84.94 V	48.38 V

Fuente: Autores

#### 5.4.6. Implementación rectificadora trifásico tipo puente controlado.

En la implementación del rectificador tipo puente totalmente controlado se utilizaron seis módulos de SCRs.

**Tabla 5.12:** Datos obtenidos para el rectificador trifásico tipo puente controlado.

Ítem	Valor				
		Simulación		Osciloscopio	
		$\alpha$ =máx.	$\alpha$ =min	$\alpha$ =máx.	$\alpha$ =min
$V_o$	RMS	86.4 V	53.26 V	85.9 V	54.2 V
	DC	84.94 V	48.38 V	84.7 V	47.5 V

Fuente: Autores

### 5.5. Análisis De Las Pruebas Realizadas.

Con el fin de analizar el desempeño del prototipo en las pruebas realizadas con los rectificadores trifásicos, en la Tabla 5.16 se resume el porcentaje de error relativo máximo de los cálculos de corriente y tensión en las mediciones realizadas, tomando como patrón los datos obtenidos con el osciloscopio, como se describe en la Ecuación 5.16.

$$Error_{Relativo} = \frac{Medicion_{Simulación} - Medicion_{osciloscopio}}{Medicion_{osciloscopio}} \quad (5.16)$$

**Tabla 5.13:** Error máximo en las mediciones de corriente y tensión.

Rectificador	Sensor de tensión	Sensor de corriente
No controlado	3 %	4.9 %
Controlado	3.6 %	6.5 %

Fuente: Autores

Con las pruebas realizadas en la implementación de rectificadores monofásicos y trifásicos se validó el correcto funcionamiento, presentando un error máximo en los cálculos de tensión de 6.0%.

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO.

### 6.1. Presupuesto.

A continuación, se ilustra el análisis de precios que corresponde para la construcción de del módulo de rectificación monofásica y trifásica, considerando la clasificación de los dos grupos de costos, los cuales son:

- Costos directos
- Costos indirectos

En los costos directos se presentan los siguientes subconjuntos:

- Materiales para el arma de los circuitos de rectificación:
  - Monofásica no controlado
  - Trifásica no controlado
  - Monofásica controlado
  - Trifásica controlado
- Materiales para el diseño de la estructura.

Por otra parte, en los costos indirectos se detallan valores como:

- Internet
- Impresiones
- Transporte
- Imprevistos
- Mano de obra

### 6.1.1. Costos directos.

Valores que inciden en la fabricación del módulo de rectificación monofásica y trifásica

**Tabla 6.1:** Elemento de potencia

Ítem	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Diodos de silicio 6A	6	3.22	19.32
2	Puentes de diodos	6	1.01	6.06
3	Pic16f877a	6	8.65	51.90
4	Opto transistores 4N25	6	1.80	10.80
5	Moc 3010	6	2.10	12.60

6	Potenciómetro 10K $\Omega$	6	0.30	1.80
7	Diodos 1N4007	12	0.25	3.00
8	Resistencias 15K $\Omega$ 10w	6	3.50	21.00
9	Cristales de 4Mhz	6	0.5	3
10	Resistencia 10K $\Omega$ 1/4W	6	2.50	15.00
11	Scr Tic 151	6	6.22	37.32
12	Zócalos de 40 pin	6	0.80	4.80
13	Zócalos de 8 pin	6	0.20	2.40
14	Resistencia 220 $\Omega$	6	0.05	0.30
15	Resistencia 3.9 K $\Omega$	6	0.05	0.30
16	Resistencia 3.3 K $\Omega$	6	0.05	0.30
<b>Total (USD)</b>				189.90

Fuente: Autores

**Tabla 6.2:** Accesorios de montaje

Ítem	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	cable	4 m	1.50	6.00
2	Conector trifásico tipo Y	1	7.30	7.30
3	Breaker 16 A	3	15.30	45.90
4	Fusibles de 2A	10	5.50	16.50

5	Luces piloto roja, verde, amarilla	3	4.20	12.60
6	Porta fusibles	3	14.30	42.90
7	Placas de 20*30	4	6.80	27.20
8	Jack banana	100	0.80	80.00
9	Batería 12v/7A	1	39.82	39.82
10	Inversor 12V /110V	1	143.22	143.22
11	Cargador de batería	1	89.44	89.44
<b>Total (USD)</b>				510.88

Fuente: Autores

**Tabla 6.3:** Banco de prueba

Ítem	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Estructura	1	150.00	150.00
3	Diseño y acabados	1	40.00	40.00
<b>Total (USD)</b>				190.00

Fuente: Autores

### 6.1.2. Costos indirectos.

Los Valores que intervienen en la fabricación de un producto para complementar indirectamente la terminación del mismo.

**Tabla 6.4:** Costos Indirectos

Ítem	Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Internet	240 horas	0.60	80.00
2	Impresiones	40	1.00	40.00
3	Transporte			70.00
4	Imprevistos	1	75.00	75.00
<b>Total (USD)</b>				<b>265.00</b>

Fuente: Autores

### 6.1.3. Costo total.

En la siguiente tabla se enlista los rubros de acuerdo a los costos directos e indirectos que corresponde para la implementación de un módulo de rectificación monofásica y trifásica.

**Tabla 6.5.** Costo directo e indirecto

	CONJUNTO	VALOR \$
<b>COSTO DIRECTO</b>	Banco de prueba	190.00
	Elemento de potencia	189.90
	Accesorios de montaje	510.88
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO</b>		<b>890.78</b>
<b>COSTO INDIRECTO</b>	Internet	80.00
	Impresiones	40.00
	Transporte	70.00
	Imprevistos	75.00
<b>TOTAL DE COSTO INDIRECTO</b>		<b>265.00</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1155.78</b>

Fuente: Autores

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

- Al realizar la rectificación de ondas eléctricas tanto monofásica como trifásica, el módulo siempre tiene un pequeño margen de diferencia de medición en comparación con la simulación, siendo este del 3% en la rectificación no controlada y del 3.6% en la rectificación controlada debido al consumo eléctrico que tienen los elementos semiconductores.
- Se observó que cuando una onda rectificada tiene una distorsión esto se debe a que el diodo semiconductor no está correctamente conectado por lo cual no existe un flujo de corriente correcto lo cual provoca que la onda rectificada de salida no tenga los parámetros de amplitud correctos.
- Para el diseño y rectificación de las magnitudes eléctricas se pudo establecer que la configuración de entrada de las líneas eléctricas al módulo debe ser en Y, esto permite tener las tres fases R S T y el neutro con el cual se controló a los SCR.
- El adecuado balance de las líneas de entrada al módulo es importante para poder tener un control adecuado de los dispositivos semiconductores y que estos no presenten problemas debido a la diferencia de voltajes, por lo cual la comparación entre líneas en el laboratorio fue de un 2 % de diferencia entre las mismas.  $\% \text{Desbalance} = [(Carga \text{ Mayor} - Carga \text{ Menor}) \times (100)] / (Carga \text{ Mayor})$ .
- Al no dimensionar adecuadamente un semiconductor este entra en funcionamiento, pero tiene un tiempo de funcionamiento muy corto debido al recalentamiento del mismo el cual provoca reducción de su vida útil.
- Por medio de las pruebas en el módulo podemos deducir que los rectificadores trifásicos controlados proveen una mayor eficiencia que los rectificadores trifásicos no controlados debido a que nos permiten manipular la amplitud de la onda eléctrica.

## 7.2. Recomendaciones

- Se recomienda tener principal cuidado con el módulo de rectificación monofásica y trifásica debido a que se trabaja con C.A. con voltajes de 110V. y 220 V al momento de realizar mediciones.
- Es importante que en caso de generarse un cortocircuito se revise los fusibles de protección internos.
- El módulo de electrónica de potencia se elaboró con la finalidad de que sea un instrumento didáctico para los estudiantes de la Carrera, por lo que se recomienda darle un uso apropiado para obtener un mejor beneficio de los mismos.
- Se recomienda no hacer reemplazo de fusibles de diferentes características, esto con la finalidad de mantener siempre protegido el modulo didáctico.
- Al empezar con las prácticas de laboratorio se recomienda bajar el breaker de protección y armar el circuito que corresponda con toda la seguridad posible.
- Para comenzar con la manipulación de modulo recomendamos el uso de los equipos de protección personal (EPP).
- Verificar que el osciloscopio siempre este aislado.
- Posibilitar la indicación de los ángulos de disparo.
- Analizar la posibilidad de una conexión inalámbrica.

## 8. REFERENCIAS

- [1] B. A. M. J. Y. T. G. R. TERÁN, «Modulo didactico de electronica suministrada en una carga mediante tiristor GTO,» 2013.
- [2] M. H. Rasshid, *Electronica De Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*, México: Mc. Graw Hill, 1995.
- [3] T. NICOLA, «"Definicion Basica De Electronica De Potencia",» de *"Definicion basica de electronica de potencia"*, 2º Edición, 1885, p. 113.
- [4] J. A. GUALDA, ««ELECTRONICA INDUSTRIAL,» de Técnicas De Potencia,» Marcombo S.A, 1997, p. 52.
- [5] R. MUHAMMAD, « «ELECTRÓNICA DE POTENCIA (Circuitos, Dispositivos Y Aplicaciones),»», de «*ELECTRÓNICA DE POTENCIA (Circuitos, Dispositivos Y Aplicaciones)*,»», México, Prentice Hall, 2004, p. 1.
- [6] M. P. G., «“Convertidores CC/CA para la conexión directa a la red de sistemas fotovoltaicos”,» RECERCAT, mayo 2009, pp. página 33-42.
- [7] S. O. & S. GIMENO, *Electronica De Potencia: Fundamentos Basicos*, : , México: Alfa Omega, 2004.
- [8] T. N. MOHAND, *Electronica De Potencia(Convertidores, Aplicaciones Y Diseño)*,, México: Mc. Graw Hill, 1995.
- [9] J. y. M.-D. J. Albella, *Fundamentos de Electronica Fisica y Microelectronica*, Madrid: Addison-Wesley/Universidad Autonoma de Madrid, 1998.
- [10] G. A. R. Robredo, *ELECTRONICA BASICA Para Ingenieros*, España: Texas Instruments Incorporated, 1958.
- [11] D. G. y. F. B. GOLDEN, *General Electric (SCR Manual)*, Prentice Hall, 1982.
- [12] A. P. MALVINO, *Principios De Electronica*,, Mc. Graw-Hill, 2000.
- [13] D. V. HORACIO, *El mundo de la elctronica*, Enigma Team, 2013.
- [14] L. J. C. Herrera, *Teoría PWM (Modulación por Ancho de Pulsos)*, México: CIDETEC IPN, 2010.
- [15] R. L. BOYLESTAD, *ELECTRONICA Teoria De Circuitos*, México: Prentice Hall, 1997.
- [16] BOYLESTAD, «Análisis Introductorio de Circuitos,» de *Los Tipos De Inductores*, México : Prentice Hall, 1997.

- [17] E. ION, *Sistemas Electrónicos de Potencia*, Colombia: 3ª Edición, 2013.
- [18] T. M. U. R. W. P. Mohan, *Power Electronics. Converters, Applications, and Design* (2ª edición), United States of America: John Wiley & Sons, 2002.
- [19] J. RODRIGUEZ, *Electronica Industrial*, Madrid, 2000.
- [20] D. W. HART, “ELECTRÓNICA DE POTENCIA”, Madrid: 1ª Edición en español Pearson Educación S.A., 2001.
- [21] D. W. HART, «“ELECTRÓNICA DE POTENCIA: COMPONENTES, TOPOLOGÍAS Y EQUIPOS”,» MARTÍNEZ GARCÍA, [En línea]. Available: <[https://books.google.com.ec/books?id=izwxn8edxhAC&pg=PA2&hl=es&source=gbs\\_toc\\_r&cad=3#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=izwxn8edxhAC&pg=PA2&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false)>. [Último acceso: 10 junio 2018].
- [22] M. Signal, «Geniolandia,» 01 February 2018. [En línea]. Available: <https://www.geniolandia.com/13098496/definicion-de-cables-de-conexion-electricos>. [Último acceso: 23 01 2019].
- [23] I. D. J. C. E. Maeco, *Electronica Analogica. El diodo y fuentes de alimentacion.*, Edebe.
- [24] M. H. Rashid., *Power Electronics Handbook*.
- [25] J. A. Suárez, *Medidas Eléctricas*, Número ISBN 950-43-9807-3, 2014.
- [26] A. Karcz, *Fundamentos de Metrología Eléctrica*, Ediciones Técnicas Marcombo S.A.
- [27] R. Navas, *Diseño y construcción de un ciclo convertidor monofasico-monofasico*, El Salvador: Facultad de Ingeniería Eléctrica, 2011.
- [28] E. Medina, ««Proteus Simulador electronico»,» 25 01 2012. [En línea]. Available: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:wFPoWn0UNHUIJ:blutintegrado.blogspot.com/2012/02/proteus-simulador-electronico.html+&cd=13&hl=es&ct=clnk&gl=ec..> [Último acceso: 10 01 2018].
- [29] F. Ruiz Vassallo, *Manual de Diodos Semiconductores*, Ediciones CEAC.
- [30] D. M. Ortuzar, ««Diseño y Construcción de un Conversor DC-DC para el Control de Ultracapacitores»,» 2002. [En línea]. Available: <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/paperspdf/dixon/tesis/Ortuzar>. [Último acceso: 20 01 2018].
- [31] L. H. Dixon, "Control Loop Cookbook", Unitrode, 1996.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi



Ingeniería  
Electromecánica

# ANEXOS

**ANEXO I.** Cuadro de operación de variables

<b>Hipótesis:</b> Con la implementación del módulo didáctico se mejorará la visualización de las magnitudes eléctricas en tiempo real en la asignatura de electrónica de potencia de la Universidad Técnica De Cotopaxi.					
<b>VARIABLES</b>		<b>DEFINICIONES CONCEPTUALES</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADORES:</b>	<b>INSTRUMENTO</b>
<b>Independiente</b>	Modulo didáctico de rectificación monofásica y trifásica controlado y no controlado	Conjunto de elemento eléctricos y electrónicos semiconductores para rectificación	Rectificación no controlada	Diagramas eléctricos de rectificación monofásica y trifásica	Software Proteus
			Rectificación controlada	Activación y desactivación de diodos de potencia	
<b>Dependiente</b>	Visualización de formas de onda y magnitudes eléctricas	Graficas esquemática de una magnitud.	Forma de onda	Graficas	Osciloscopio
			Magnitudes eléctricas	Cantidad	

## ANEXO II. Catalogo para selección de cables



Cables para la Construcción

**Alambres y Cables**  
**THWN/THHN 600V, 75/90°C**

CABLE VIAKON® THWN/THHN 600 V									
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal de nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*		
							60°C	75°C	90°C
AWG/kcmil	mm²		mm	mm	mm	kg/100 m			
14	2,082	19	0,38	0,10	2,9	3	20	20	25
12	3,307	19	0,38	0,10	3,4	4	25	25	30
10	5,260	19	0,51	0,10	4,3	6	30	35	40
8	8,367	19	0,76	0,13	5,7	10	40	50	55
6	13,30	19	0,76	0,13	6,7	15	55	65	75
4	21,15	19	1,02	0,15	8,5	24	70	85	95
2	33,62	19	1,02	0,15	10,1	36	95	115	130
1	42,41	19	1,27	0,18	11,6	46	110	130	150
1/0	53,48	19	1,27	0,18	12,7	56	125	150	170
2/0	67,43	19	1,27	0,18	13,9	70	145	175	195
3/0	85,01	19	1,27	0,18	15,2	87	165	200	225
4/0	107,2	19	1,27	0,18	16,7	108	195	230	260
250	126,7	37	1,52	0,20	18,5	128	215	255	290
300	152,0	37	1,52	0,20	19,9	152	240	285	320
350	177,3	37	1,52	0,20	21,3	177	260	310	350
400	202,7	37	1,52	0,20	22,5	201	280	335	380
500	253,4	37	1,52	0,20	24,7	249	320	380	430
600	304,0	61	1,78	0,23	27,3	298	355	420	475
750	380,0	61	1,78	0,23	30,0	369	400	475	535
1 000	506,7	61	1,78	0,23	34,0	488	455	545	615

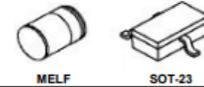
\* Basada en la tabla 310.16 del NEC (NFPA 70) para una temperatura ambiente de 30°C.

NOTA: Las dimensiones y pesos están sujetos a tolerancias de manufactura.

Activar V  
 Ve a Config

### ANEXO III: Catalogo de los diodos

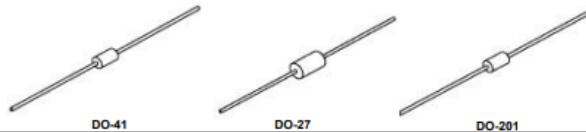
**FABRICANTES VARIOS**



**DIODOS ZENNER SMD**

CODIGO ELEMEN	CODIGO FABRICANTE	TENSION	POTENCIA	CORRIENTE	TOLERANCIA	ENCAPSUL.	PRECIO UNIT. (No incluye IVA)	PRECIO x 100u (No incluye IVA)
DDI1091975	BZV55C2V7	2.7V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1091980	BZX84C3V3 (Z14)	3.3V	300mW	5mA		SOT-23	USD 0.067	USD 0.050
DDI1091985	BZV55C3V3	3.3V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1091995	BZV55C3V9	3.9V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1092000	CMBZ5230B (8E)	4.7V	300mW			SOT23	USD 0.074	USD 0.056
DDI1092005	BZV55C4V7	4.7V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1092008	BZX84C5V1 (Z2)	5.1V	300mW			SOT-23	USD 0.067	USD 0.050
DDI1092010	CMBZ5231B (8F)	5.1V	300mW			SOT-23	USD 0.074	USD 0.056
DDI1092015	BZV55C5V1	5.1V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1092018	BZX84C5V6 (Z3)	5.6V	300mW			SOT-23	USD 0.067	USD 0.050
DDI1092035	BZV55C6V2	6.2V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1092060	CMBZ5236B (8L)	7.5V	300mW			SOT-23	USD 0.074	USD 0.056
DDI1092065	BZV55C7V5	7.5V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1092090	CMBZ5239B (8P)	9.1V	300mW			SOT-23	USD 0.074	USD 0.056
DDI1092095	BZV55C9V1	9.1V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1092120	CMBZ5242B (8S)	12V	300mW			SOT-23	USD 0.074	USD 0.056
DDI1092125	BZV55C12	12V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1092145	BZV55C15	15V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1092165	BZV55C18	18V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1092200	TZMC20-G508	20V	500mW			MELF	USD 0.076	USD 0.057
DDI1092230	BZX84C24	24V	300mW			SOT23	USD 0.067	USD 0.050

**FABRICANTES VARIOS**



**DIODOS RECTIFICADORES**

CODIGO ELEMEN	CODIGO FABRICANTE	TENSION Vpi	CORRIENTE If	ENCAPSUL.	PRECIO UNIT. (No incluye IVA)	PRECIO x 100u (No incluye IVA)
DDI1152010	1N 4002	100V	1A	DO-41	USD 0.020	USD 0.015
DDI1152030	1N 4004	400V	1A	DO-41	USD 0.015	USD 0.011
DDI1152060	1N 4007	1000V	1A	DO-41	USD 0.014	USD 0.011
DDI1152090	1N 5402	200V	3A	DO-27	USD 0.050	USD 0.038
DDI1152100	1N 5404	400V	3A	DO-27	USD 0.057	USD 0.043
DDI1152140	1N 5406	600V	3A	DO-27	USD 0.057	USD 0.043
DDI1152150	1N 5408	1000V	3A	DO-27	USD 0.063	USD 0.047
DDI1152200	BY 550-1000	1000V	5A	DO-201	#N/A	#N/A
DDI1152210	6A2	200V	6A		USD 0.170	USD 0.128
DDI1152215	6A6	600V	6A		USD 0.173	USD 0.130
DDI1152230	6A10	1000V	6A		USD 0.185	USD 0.139

TEL: 4523-5555 / FAX: 4522-7335

Act

ANEXO IV: Catalogo de los tiristores

TIRISTORES (SCRs)



CÓDIGO	DISPOSITIVO	ITRMS (A)	IT AV (A)	VD RMS (V)	dv/dt (V/μs)	Tq (μs)	Ig (mA)	ENCAPSULADO	MARCA	FIG.
ECG5400	TIRISTOR	0.8	0.5	30	30	-	0.2	TO-92	PACE	A
2N5061	TIRISTOR	0.8	0.51	60	30	10	0.2	TO-92	MOTOROLA	A
2N5062	TIRISTOR	0.8	0.51	100	25	60	0.2	TO-92	MOTOROLA	A
MCR100-8	TIRISTOR	0.8	0.51	600	-	-	0.2	TO-92	STM	A
MCR22-6	TIRISTOR	1.5	0.95	400	25	-	0.2	TO-92	TECCOR	A
S4003M	TIRISTOR	3	1.9	400	10	35	10	TO-5	TECCOR	B
IR106B	TIRISTOR	4	2.5	200	8	100	200	TO-202	INT. RECT.	C
TIC106D	TIRISTOR	5	3.2	400	10	7.7	0.2	TO-220	TEXAS	E
TIC106M	TIRISTOR	5	3.2	600	10	7.7	0.2	TO-220	TEXAS	E
TIC116D	TIRISTOR	8	5	400	100	11	20	TO-220	TEXAS	E
S6008L #	TIRISTOR	8	5.1	600	160	35	15	TO-220	TECCOR	E
TIC116M	TIRISTOR	8	5	600	100	11	20	TO-220	TEXAS	E
TIC126D	TIRISTOR	12	7.5	400	100	11	20	TO-220	TEXAS	E
BT151-500R	TIRISTOR	12	7.5	500	130	70	2	TO-220	PHILIPS	E
TIC126M	TIRISTOR	12	7.5	600	100	11	20	TO-220	TEXAS	E
BT151-800R	TIRISTOR	12	7.5	800	130	70	2	TO-220	NXP	E
TYN616	TIRISTOR	16	10	600	50	50	25	TO-220	STM	E
MCR16N	TIRISTOR	16	10	800	200	-	10	TO-220	ON SEMI	E
S6020L #	TIRISTOR	20	12.8	600	220	35	30	TO-220	TECCOR	E
TXN692 #	TIRISTOR	20	13	800	500	-	25	TO-220	STM	E
BT152-800R	TIRISTOR	20	13	800	300	-	32	TO-220	NXP	E
MCR25D	TIRISTOR	25	16	400	250	-	12	TO-220	ON SEMI	E
S8025R	TIRISTOR	25	16	800	200	35	30	TO-220	TECCOR	E
2N692	TIRISTOR	25	16	800	-	-	40	TO-48	MOTOROLA	G
K16RIA120 *	TIRISTOR	25	16	1200	500	20	100	TO-48	JEENDA	G
BTW68-800 #	TIRISTOR	30	19	800	500	100	50	TO-3P	STM	W
BTW68-1200 #	TIRISTOR	30	19	1200	500	100	50	TO-3P	STM	W
16RIA60	TIRISTOR	35	16	600	100	110	60	TO-48	INT. RECT.	G
16RIA120	TIRISTOR	35	16	1200	100	110	60	TO-48	INT. RECT.	G
S8040R	TIRISTOR	40	25	800	500	35	40	TO-220	TECCOR	E
25RIA80M	TIRISTOR	40	25	800	100	110	40	TO-48(M6)	INT. RECT.	G
40TTS12	TIRISTOR	40	25	1200	500	110	35	TO-220	INT. RECT.	E
25RIA120	TIRISTOR	40	25	1200	100	110	40	TO-48	INT. RECT.	G
BTW69-600 #	TIRISTOR	50	32	600	1000	-	50	TO-3P	STM	W
CYNA56-1000 #	TIRISTOR	50	32	1000	1000	-	50	TO-3P	C3 SEMI	W
BTW69-1200 #	TIRISTOR	50	32	1200	1000	-	50	TO-3P	STM	W
S8055M	TIRISTOR	55	35	800	500	35	40	TO-3P	TECCOR	W
40TPS12A	TIRISTOR	55	35	1200	1000	-	150	TO-247AC	INT. RECT.	W
S4070WTP	TIRISTOR	70	45	400	650	35	50	TO-218X	LITTELFUSE	S
S8070W	TIRISTOR	70	45	800	500	35	50	TO-218X	LITTELFUSE	S
CYNA71-1000 #	TIRISTOR	70	50	1000	1000	-	60	TO-3P	C3 SEMI	W
70TPS12	TIRISTOR	75	70	1200	500	-	100	SUPER TO-247	INT. RECT.	W
70TPS16	TIRISTOR	75	70	1600	500	-	100	SUPER TO-247	INT. RECT.	W
50RIA60	TIRISTOR	80	50	600	200	110	100	TO-65	I.R./S.ST.	H
50RIA80M	TIRISTOR	80	50	800	200	110	100	TO-65 (M6)	INT. RECT.	H
50RIA120	TIRISTOR	80	50	1200	200	110	100	TO-65	INT. RECT.	H
K50RIA120 *	TIRISTOR	80	50	1200	800	20	100	TO-65	JEENDA	H
80RIA120	TIRISTOR	125	80	1200	500	110	120	TO-94	INT. RECT.	K
S15CG680	TIRISTOR	140	90	600	700	70	150	TO-94	INT. RECT.	K
T90RIA120	TIRISTOR	140	90	1200	500	110	120	T-M3	INT. RECT.	J
ST110S12P0V	TIRISTOR	175	110	1200	500	-	150	TO-94	INT. RECT.	K
ST110S16P0	TIRISTOR	175	110	1600	500	-	150	TO-94	INT. RECT.	K
ST173S12PFP0 *	TIRISTOR	275	175	1200	500	25	200	TO-93	INT. RECT.	L
ST173S12PFK0 *	TIRISTOR	275	175	1200	200	20	200	TO-93	INT. RECT.	L
ST180S12P0V	TIRISTOR	314	200	1200	500	100	150	TO-93	INT. RECT.	L
ST180S16P0	TIRISTOR	314	200	1600	1000	-	150	TO-93	INT. RECT.	L
ST230S12P0V	TIRISTOR	361	230	1200	500	-	150	TO-93	INT. RECT.	L
ST230S16P0	TIRISTOR	361	230	1600	500	-	150	TO-93	INT. RECT.	L
300RA20	TIRISTOR	470	300	200	500	120	150	A-6	INT. RECT.	N
ST300S12P0	TIRISTOR	470	300	1200	500	100	100	TO-118	INT. RECT.	M
ST303S12PFK0 *	TIRISTOR	471	300	1200	500	25	200	TO-118	INT. RECT.	M
ST330S12P0	TIRISTOR	520	330	1200	500	100	200	TO-118	INT. RECT.	M
ST330S16P0	TIRISTOR	520	330	1600	500	100	200	TO-118	INT. RECT.	M

\* RÁPIDOS, TIPO INVERSOR # AISLADOS

CONTINÚA EN PÁGINA SIGUIENTE

WWW.GMELECTRONICA.COM.AR

ANEXO V: Catalogo de los optopaisladores

# OPTOAISLADORES

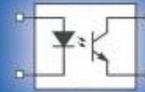


CÓDIGO	SALIDA	TIPO	SALIDA		Ic/I <sub>f</sub> (%)	OBSERVACIONES	FIG.
			I <sub>o</sub> (mA)	V <sub>o</sub> (V)			
IL1	TRANSISTOR	DIL-6	50	20	35	6 - 25 μS	A1
IL74	TRANSISTOR	DIL-6	50	20	35	6 - 25 μS	A1
TIL111	TRANSISTOR	DIL-6	7	30	40	5 μS	A1
TIL117	TRANSISTOR	DIL-6	9	30	50	9 μS	A1
H11A1	TRANSISTOR	DIL-6	10	30	50	2 μS	A1
H11A1S	TRANSISTOR	SO-6 (SMD)	10	30	50	2 μS	A1
H11A3	TRANSISTOR	DIL-6	10	30	20	2 μS	A1
MCT2E	TRANSISTOR	DIL-6	16	30	20	2.6 μS	A1
MCT2	TRANSISTOR	DIL-6	16	30	20	10 - 30 μS	A1
4N27	TRANSISTOR	DIL-6	50	30	10	2 - 5 μS	A1
4N28	TRANSISTOR	DIL-6	50	30	10	2 - 5 μS	A1
4N25	TRANSISTOR	DIL-6	50	30	20	0.9 - 11 μS	A1
4N25D (4N25S)	TRANSISTOR	SO-6 (SMD)	50	30	20	0.9 - 11 μS	A1
4N26	TRANSISTOR	DIL-6	50	30	20	2.5 μS	A1
4N36	TRANSISTOR	DIL-6	50	30	100	2 - 2 μS	A1
4N35	TRANSISTOR	DIL-6	100	30	100	4 - 4 μS	A1
4N35S	TRANSISTOR	SO-6 (SMD)	100	30	100	4 - 4 μS	A1
4N37	TRANSISTOR	DIL-6	100	30	100	4 - 4 μS	A1
MOC8100	TRANSISTOR	DIL-6	100	30	30	20 - 20 μS	A1
SL5500	TRANSISTOR	SO-6 (SMD)	-	30	50	20 - 50 μS	A1
CQY80N	TRANSISTOR	DIL-6	50	32	90	11 - 7 μS	A1
H11AV1A	TRANSISTOR	DIL-6	15	70	150	5 - 4 μS	A1
CNY17-1	TRANSISTOR	DIL-6	50	70	40	5.6 - 4.1 μS	A1
CNY17-2	TRANSISTOR	DIL-6	50	70	63	5.6 - 4.1 μS	A1
TLP535	TRANSISTOR	DIL-6	100	70	63	-	A1
CNY17-3	TRANSISTOR	DIL-6	50	70	100	5.6 - 4.1 μS	A1
CNY17-4	TRANSISTOR	DIL-6	50	70	160	5.6 - 4.1 μS	A1
CNY17-4D	TRANSISTOR	SO-6 (SMD)	-	70	160	5.6 - 4.1 μS	A1
4N38	TRANSISTOR	DIL-6	20	80	40	0.8 - 7 μS	A1
CNY75C	TRANSISTOR	DIL-6	10	90	160	4.2 - 4.7 μS	A1
H11D4	TRANSISTOR	DIL-6	100	200	10	5 - 5 μS	A1
H11D3S	TRANSISTOR	SO-6 (SMD)	100	200	20	5 - 5 μS	A1
H11D1	TRANSISTOR	DIL-6	100	300	20	5 - 5 μS	A1
H11D2	TRANSISTOR	DIL-6	100	300	20	5 - 5 μS	A1
MOC8102	TRANSISTOR	DIL-6	50	30	50	2 μS	A2
MOC8103	TRANSISTOR	DIL-6	50	30	100	2 μS	A2
CNY17F-2	TRANSISTOR	DIL-6	50	70	63	3 - 2.3 μS	A2
CNY17F-3	TRANSISTOR	DIL-6	50	70	100	3 - 2.3 μS	A2
TLP131GB	TRANSISTOR	SO-6 (SMD)	50	80	100	2 - 3 μS	A3
H11B1	DARLINGTON	DIL-6	10	25	500	125 - 100 μS	B
H11B2	DARLINGTON	DIL-6	10	25	200	125 - 100 μS	B
MCA230	DARLINGTON	DIL-6	50	30	100	10 - 35 μS	B
TIL119	DARLINGTON	DIL-6	30	30	300	50 μS	B
TIL113	DARLINGTON	DIL-6	30	30	300	300 μS	B
4N31	DARLINGTON	DIL-6	150	30	50	2 - 25 μS	B
4N30	DARLINGTON	DIL-6	150	30	100	5 - 40 μS	B
4N32	DARLINGTON	DIL-6	150	30	500	2 - 60 μS	B
4N33	DARLINGTON	DIL-6	150	30	500	2 - 60 μS	B
MCA255	DARLINGTON	DIL-6	50	55	100	10 - 100 μS	B
MOC8021M	DARLINGTON	DIL-6	125	80	-	5 - 100 μS	B
MOC8050	DARLINGTON	DIL-6	150	80	500	13 - 60 μS	B
MOC216R1	TRANSISTOR	SO-8 (SMD)	150	30	50	3 μS	C
PC814	TRANSISTOR	DIL-4	50	35	20	AC INPUT	D1
TLP626	TRANSISTOR	DIL-4	50	55	50	AC INPUT	D1
TLP620	TRANSISTOR	DIL-4	50	55	100	AC INPUT	D1
SFH6206-3	TRANSISTOR	SO-4 (SMD)	50	70	100	AC INPUT	D1
PS2505-1	TRANSISTOR	DIL-4	50	80	300	AC INPUT	D1
PC824	TRANSISTOR	DIL-8	50	35	20	2 x PC814	D2
TLP620-2	TRANSISTOR	DIL-8	50	55	100	AC INPUT	D2
PS2505-2	TRANSISTOR	DIL-8	50	80	300	AC INPUT	D2
PC844	TRANSISTOR	DIL-16	50	35	20	4 x PC814	D3
TLP620-4	TRANSISTOR	DIL-16	50	55	100	AC INPUT	D3
PS2505-4	TRANSISTOR	DIL-16	50	80	300	AC INPUT	D3

WWW.GMELECTRONICA.COM.AR

CONTINÚA EN LA PÁGINA SIGUIENTE

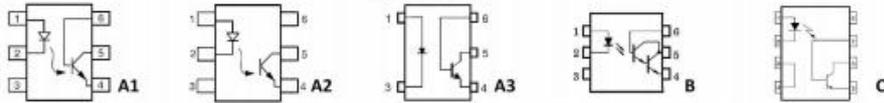
# OPTOISLADORES



CÓDIGO	SALIDA	TIPO	SALIDA		Ic/If (%)	OBSERVACIONES	FIG.
			I <sub>o</sub> (mA)	V <sub>o</sub> (V)			
ILD74	TRANSISTOR	DIL-8	30	20	35	6 - 25 μS	E
MCT62 (MCT6)	TRANSISTOR	DIL-8	30	20	100	2.4 μS	E
TLP504A	TRANSISTOR	DIL-8	50	55	100	2 - 3 μS	E
ILQ74 (CNY74-4)	TRANSISTOR	DIL-16	12	20	35	6 - 25 μS	F
TIL186	TRANSISTOR	DIL-6	-	55	-	AC INPUT	G1
H11AA1	TRANSISTOR	DIL-6	100	30	20	AC INPUT	G1
H11AA1D	TRANSISTOR	SO-6 (SMD)	100	30	20	AC INPUT	G1
IL256AT	TRANSISTOR	SO-8 (SMD)	60	30	20	AC INPUT	G2
MOC3012	TRIAC	DIL-6	100	250	5mA	12 V/μS	H
MOC3011	TRIAC	DIL-6	100	250	10mA	12 V/μS	H
MOC3010	TRIAC	DIL-6	100	250	15mA	12 V/μS	H
MOC3023	TRIAC	DIL-6	100	400	5mA	12 V/μS	H
MOC3022	TRIAC	DIL-6	100	400	10mA	12 V/μS	H
MOC3021	TRIAC	DIL-6	100	400	15mA	12 V/μS	H
MOC3021S	TRIAC	SO-6 (SMD)	100	400	15mA	12 V/μS	H
MOC3020	TRIAC	DIL-6	100	400	30mA	12 V/μS	H
MOC3031	TRIAC	DIL-6	100	250	15mA	100 V/μS	I
MOC3030	TRIAC	DIL-6	100	250	30mA	100 V/μS	I
MOC3043	TRIAC	DIL-6	100	400	5mA	2000 V/μS	I
MOC3042	TRIAC	DIL-6	100	400	10mA	100 V/μS	I
MOC3041	TRIAC	DIL-6	100	400	15mA	100 V/μS	I
MOC3040	TRIAC	DIL-6	100	400	30mA	100 V/μS	I
MOC3063	TRIAC	DIL-6	100	600	5mA	1500 V/μS	I
MOC3061	TRIAC	DIL-6	100	600	10mA	1500 V/μS	I
MOC3062	TRIAC	DIL-6	100	600	15mA	1500 V/μS	I
PC4SD21NTZD	TRIAC	DIL-6	100	800	3mA	1000 V/μS	I
MOC3083	TRIAC	DIL-6	100	800	5mA	1500 V/μS	I
MOC3081	TRIAC	DIL-6	100	800	15mA	1500 V/μS	I
H11C3	TIRISTOR	DIL-6	300	200	30mA	500 V/μS	J1
S12ME1	TIRISTOR	DIL-6	200	400	10mA	3 V/μS(MIN)	J1
S12MD1V	TIRISTOR	DIL-6	200	400	15mA	3 V/μS(MIN)	J1
IL400	TIRISTOR	DIL-6	1000	400	20mA	-	J1
S22MD1V	TIRISTOR	SO-6 (SMD)	200	600	10mA	5 V/μS(MIN)	J1
6N135	TRANSISTOR	DIL-8	8	15	18	1 MBits/S	K
6N136	TRANSISTOR	DIL-8	8	15	24	1 MBits/S	K
6N136D	TRANSISTOR	SO-8 (SMD)	8	15	24	1 MBits/S	K
TLP550	TRANSISTOR	DIL-8	8	15	30	1 MBits/S	K
6N138	DARLINGTON	DIL-8	60	7	300	10 - 35 μS	L
6N139	DARLINGTON	DIL-8	60	18	500	5 - 18 μS	L
HCPL2730	DARLINGTON	DIL-8	60	18	300	DUAL 6N138	LL
HCPL2731	DARLINGTON	DIL-8	60	18	500	DUAL 6N139	LL
TLP523-2	DARLINGTON	DIL-8	50	55	2000	DUAL	LL
H11G1	DARLINGTON	DIL-6	150	100	1000	5 - 100 μS	M
IS661	DARLINGTON	DIL-6	150	300	1000	300 - 100 μS	M
SFH610A-3	TRANSISTOR	DIL-4	50	70	100	3 - 2.3 μS	N0
TLP521-1	TRANSISTOR	DIL-4	50	35	50	3 μS	N1
PC817	TRANSISTOR	DIL-4	50	35	50	4 μS	N1
TLP621-1	TRANSISTOR	DIL-4	50	55	50	3 μS	N1
TLP624-1	TRANSISTOR	DIL-4	50	55	100	8 μS	N1
SFH618A5	TRANSISTOR	DIL-4	50	55	250	3.5 - 5 μS	N1
PC816	TRANSISTOR	DIL-4	50	70	50	18 μS	N1
SFH615A2	TRANSISTOR	DIL-4	50	70	63	3 - 2.3 μS	N1
SFH615A4	TRANSISTOR	DIL-4	50	70	90	2 μS	N1
SFH615A3	TRANSISTOR	DIL-4	50	70	100	3 - 2.3 μS	N1
SFH617A4	TRANSISTOR	DIL-4	50	70	160	3 - 2.3 μS	N1
TLP321-1	TRANSISTOR	DIL-4	50	80	50	2 - 3 μS	N1
PS2501-1	TRANSISTOR	DIL-4	50	80	80	3 - 5 μS	N1
PS2561BL-1	TRANSISTOR	SO-4 (SMD)	50	80	200	3 - 5 μS	N1
PC827	TRANSISTOR	DIL-8	50	35	50	4 μS	N2
TLP521-2	TRANSISTOR	DIL-8	50	35	50	3 μS	N2
TLP621-2	TRANSISTOR	DIL-8	50	55	50	3 μS	N2
TLP321-2	TRANSISTOR	DIL-8	50	80	50	2 - 3 μS	N2
PS2501-2	TRANSISTOR	DIL-8	50	80	80	3 μS	N2
ACPL227	TRANSISTOR	SO-8 (SMD)	50	80	50	2 - 3 μS	N2

CONTINÚA EN LA PÁGINA SIGUIENTE

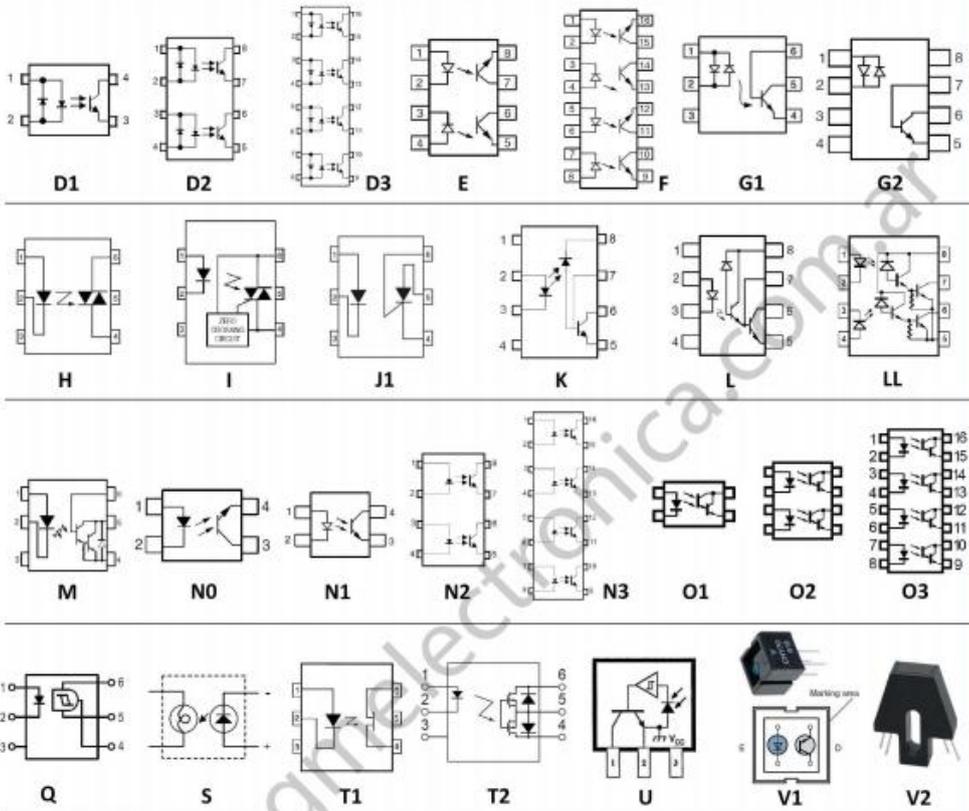
FIGURAS



OPTOISLADORES



FIGURAS (continuación)



ANEXO VI: Valores comerciales de las residencias

Valor (OHMS)	X1	X10	X100	X1K	X10K	Valor (OHMS)	X1	X10	X100	X1K	X10K
10.0	874-3000	874-3240	874-3480	874-3720	874-3960	31.6	874-4440	874-4680	874-4920	874-5160	874-5400
10.2	874-3005	874-3245	874-3485	874-3725	874-3965	32.4	874-4445	874-4685	874-4925	874-5165	874-5405
10.5	874-3010	874-3250	874-3490	874-3730	874-3970	33.2	874-4450	874-4690	874-4930	874-5170	874-5410
10.7	874-3015	874-3255	874-3495	874-3735	874-3975	34.0	874-4455	874-4695	874-4935	874-5175	874-5415
11.0	874-3020	874-3260	874-3500	874-3740	874-3980	34.8	874-4460	874-4700	874-4940	874-5180	874-5420
11.3	874-3025	874-3265	874-3505	874-3745	874-3985	35.7	874-4465	874-4705	874-4945	874-5185	874-5425
11.5	874-3030	874-3270	874-3510	874-3750	874-3990	36.5	874-4470	874-4710	874-4950	874-5190	874-5430
11.8	874-3035	874-3275	874-3515	874-3755	874-3995	37.4	874-4475	874-4715	874-4955	874-5195	874-5435
12.1	874-3040	874-3280	874-3520	874-3760	874-4000	38.3	874-4480	874-4720	874-4960	874-5200	874-5440
12.4	874-3045	874-3285	874-3525	874-3765	874-4005	39.2	874-4485	874-4725	874-4965	874-5205	874-5445
12.7	874-3050	874-3290	874-3530	874-3770	874-4010	40.2	874-4490	874-4730	874-4970	874-5210	874-5450
13.0	874-3055	874-3295	874-3535	874-3775	874-4015	41.2	874-4495	874-4735	874-4975	874-5215	874-5455
13.3	874-3060	874-3300	874-3540	874-3780	874-4020	42.2	874-4500	874-4740	874-4980	874-5220	874-5460
13.7	874-3065	874-3305	874-3545	874-3785	874-4025	43.2	874-4505	874-4745	874-4985	874-5225	874-5465
14.0	874-3070	874-3310	874-3550	874-3790	874-4030	44.2	874-4510	874-4750	874-4990	874-5230	874-5470
14.3	874-3075	874-3315	874-3555	874-3795	874-4035	45.3	874-4515	874-4755	874-4995	874-5235	874-5475
14.7	874-3080	874-3320	874-3560	874-3800	874-4040	46.4	874-4520	874-4760	874-5000	874-5240	874-5480
15.0	874-3085	874-3325	874-3565	874-3805	874-4045	47.5	874-4525	874-4765	874-5005	874-5245	874-5485
15.4	874-3090	874-3330	874-3570	874-3810	874-4050	48.7	874-4530	874-4770	874-5010	874-5250	874-5490
15.8	874-3095	874-3335	874-3575	874-3815	874-4055	49.9	874-4535	874-4775	874-5015	874-5255	874-5495
16.2	874-3100	874-3340	874-3580	874-3820	874-4060	51.1	874-4540	874-4780	874-5020	874-5260	874-5500
16.5	874-3105	874-3345	874-3585	874-3825	874-4065	52.3	874-4545	874-4785	874-5025	874-5265	874-5505
16.9	874-3110	874-3350	874-3590	874-3830	874-4070	53.6	874-4550	874-4790	874-5030	874-5270	874-5510
17.4	874-3115	874-3355	874-3595	874-3835	874-4075	54.9	874-4555	874-4795	874-5035	874-5275	874-5515
17.8	874-3120	874-3360	874-3600	874-3840	874-4080	56.2	874-4560	874-4800	874-5040	874-5280	874-5520
18.2	874-3125	874-3365	874-3605	874-3845	874-4085	57.6	874-4565	874-4805	874-5045	874-5285	874-5525
18.7	874-3130	874-3370	874-3610	874-3850	874-4090	59.0	874-4570	874-4810	874-5050	874-5290	874-5530
19.1	874-3135	874-3375	874-3615	874-3855	874-4095	60.4	874-4575	874-4815	874-5055	874-5295	874-5535
19.6	874-3140	874-3380	874-3620	874-3860	874-4100	61.9	874-4580	874-4820	874-5060	874-5300	874-5540
20.0	874-3145	874-3385	874-3625	874-3865	874-4105	63.4	874-4585	874-4825	874-5065	874-5305	874-5545
20.5	874-3150	874-3390	874-3630	874-3870	874-4110	64.9	874-4590	874-4830	874-5070	874-5310	874-5550
21.0	874-3155	874-3395	874-3635	874-3875	874-4115	66.5	874-4595	874-4835	874-5075	874-5315	874-5555
21.5	874-3160	874-3400	874-3640	874-3880	874-4120	68.1	874-4600	874-4840	874-5080	874-5320	874-5560
22.1	874-3165	874-3405	874-3645	874-3885	874-4125	69.8	874-4605	874-4845	874-5085	874-5325	874-5565
22.6	874-3170	874-3410	874-3650	874-3890	874-4130	71.5	874-4610	874-4850	874-5090	874-5330	874-5570
23.2	874-3175	874-3415	874-3655	874-3895	874-4135	73.2	874-4615	874-4855	874-5095	874-5335	874-5575
23.7	874-3180	874-3420	874-3660	874-3900	874-4140	75.0	874-4620	874-4860	874-5100	874-5340	874-5580
24.3	874-3185	874-3425	874-3665	874-3905	874-4145	76.8	874-4625	874-4865	874-5105	874-5345	874-5585
24.9	874-3190	874-3430	874-3670	874-3910	874-4150	78.7	874-4630	874-4870	874-5110	874-5350	874-5590
25.5	874-3195	874-3435	874-3675	874-3915	874-4155	80.6	874-4635	874-4875	874-5115	874-5355	874-5595
26.1	874-3200	874-3440	874-3680	874-3920	874-4160	82.5	874-4640	874-4880	874-5120	874-5360	874-5600
26.7	874-3205	874-3445	874-3685	874-3925	874-4165	84.5	874-4645	874-4885	874-5125	874-5365	874-5605
27.4	874-3210	874-3450	874-3690	874-3930	874-4170	86.6	874-4650	874-4890	874-5130	874-5370	874-5610
28.0	874-3215	874-3455	874-3695	874-3935	874-4175	88.7	874-4655	874-4895	874-5135	874-5375	874-5615
28.7	874-3220	874-3460	874-3700	874-3940	874-4180	90.9	874-4660	874-4900	874-5140	874-5380	874-5620
29.4	874-3225	874-3465	874-3705	874-3945	874-4185	93.1	874-4665	874-4905	874-5145	874-5385	874-5625
30.1	874-3230	874-3470	874-3710	874-3950	874-4190	95.3	874-4670	874-4910	874-5150	874-5390	874-5630
30.9	874-3235	874-3475	874-3715	874-3955	874-4195	97.6	874-4675	874-4915	874-5155	874-5395	874-5635

PARA VALORES NO INCLUIDOS, CONSULTE NUESTRO DEPARTAMENTO DE VENTAS

## ANEXO VII: Programacion del pic

```
#include <16F877A.h>
#device adc=8
#fuses XT, NOWDT,PUT,NOBROWNOUT
#use delay(clock=4M)
#define on output_high
#define off output_low
#define zero_cross pin_c0
#define trigger_triac pin_c1
#define subida 0
#define bajada 1
int1 flanco=0;
int8 ints_t0=0, value=0;
#int_CCP1
void ZeroCross_isr(void)
{
    if(flanco==subida)
    {
        enable_interrupts(INT_TIMER0);
        setup_ccp1(CCP_CAPTURE_FE);
        flanco = bajada;
    }
    else
    {
        off(trigger_triac);//off
        setup_ccp1(CCP_CAPTURE_RE);
        flanco = subida;
    }
}
#int_TIMER0 //T_base = 256uS
void pulse_isr(void) //T_flagg = T_base x RTCC_DIV_1 = 256uS
{
```

```

ints_t0++;
if(ints_t0>value)
{
    on(trigger_triac);//on
    ints_t0 = 0;
    disable_interrupts(INT_TIMER0);
}
}
void main(void)
{
    int16 dato;
    setup_port_a(ALL_ANALOG);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_ccp1(CCP_CAPTURE_RE);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL | RTCC_DIV_1);
    disable_interrupts(INT_TIMER0);
    flanco=subida;
    enable_interrupts(INT_CCP1);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    while(true)
    {
        set_adc_channel(0);
        delay_us(20);
        dato=read_adc();
        value =(255-dato)/10;
        //delay_ms(100);
    }
}

```

## **ANEXO VIII: Manual De Operación y Mantenimiento**

**PLANOS**

# PRÁCTICAS