



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo

Tesis de Grado

Previo a la Obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

Tema:

**“APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN MULTISIM EN LA ASIGNATURA DE ELECTRÓNICA III DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO”**

Realizado por:

**LobellBorman Campaña Aspiazu**

**Francisco Juan Garcés Chulde**

Director de Tesis:

**Ing. Efraín Suárez Murillo**

**Guayaquil, agosto 2011**

---

## **Agradecimientos**

A Dios, por ser fuente suprema de toda sabiduría y ser la luz y guía de nuestros propósitos así como la fuerza que inspiró nuestro camino.

A nuestras familias, por ser los pilares fundamentales para alcanzar tan anhelado triunfo, que representa el final de una de las etapas más importantes de nuestras vidas y el inicio de otras que serán aún más enriquecedores.

Al cuerpo docente de la Universidad Católica, y con mayor gratitud al Ing. Armando Montecé por su ayuda prestada y al Ing. Efraín Suarez, nuestro Director de tesis, por el apoyo y orientación brindada para la culminación del presente proyecto.

---

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1	- 5 -
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	- 5 -
<b>1.1 Planteamiento del Problema</b>	- 6 -
<b>1.1.1 Delimitación del Problema.</b>	- 7 -
<b>1.1.2 Justificación</b>	- 7 -
<b>1.2 ANTECEDENTES</b>	- 9 -
<b>1.2. OBJETIVOS</b>	- 11 -
<b>1.2.1 Objetivo General</b>	- 11 -
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b>	- 11 -
<b>CAPÍTULO 2</b>	- 12 -
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	- 12 -
<b>ESTUDIO DE LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA CARRERA DE ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO.</b>	- 12 -
2.1 Amplificadores Operacionales	- 13 -
2.1.1 Aplicaciones lineales con Amplificador Operacional.	- 13 -
2.2.2 Aplicaciones no lineales con Amplificadores Operacionales	- 19 -
<b>2.3 Evolución de la Electrónica de Potencia</b>	- 22 -
2.4 Clasificación y tipos de conmutación y conversión	- 22 -
2.4.1 Rectificadores de diodo.	- 22 -
2.4.2 Convertidores de ca-cd.	- 23 -
2.4.3 Convertidores de ca-ca.	- 24 -
2.4.4 Convertidores de cd-cd.	- 24 -
2.4.5 Convertidores de cd-ca.	- 25 -
2.4.6 Interruptor estático	- 25 -
2.5 Diodos de Potencia	- 26 -
2.5.1 Características y Tipos de Diodos de Potencia	- 26 -
2.5.2 Diodos de Propósito General	- 27 -
2.5.3 Diodos de recuperación rápida	- 27 -
2.5.4 Diodos Schottky	- 28 -
2.6 Circuitos Básicos con Diodos	- 28 -

2.6.1 Diodos de carburo de silicio	- 28 -
2.6.2 Diodos con cargas LC y RL.	- 29 -
2.7 Amplificadores Logarítmicos y Antilogarítmicos	- 29 -
2.8 Rectificadores de precisión, circuitos de control y procesadores de señal	- 31 -
2.8.1 Rectificador de precisión	- 31 -
2.9 Circuitos de Control	- 32 -
2.10 Procesadores de señal	- 33 -
2.12 Generadores y Conformadores de Onda	- 33 -
2.13 Tipos de Tiristores	- 34 -
2.13.1 El diodo <i>shockley</i>	- 34 -
2.13.2 SCR ( <i>silicon controlle drectifier</i> )	- 35 -
2.13.3 GCS ( <i>gate controlled switch</i> )	- 37 -
2.13.4 SCS ( <i>silicon controlled switch</i> )	- 37 -
2.13.5 El Diac	- 38 -
2.13.6El Triac	- 39 -
2.13.7 Resumen	- 40 -
2.14 Convertidores Trifásicos	- 40 -
2.15 Fenómeno de solapamiento	- 41 -
2.16 Funcionamiento como Ondulador	- 41 -
2.17Estabilizadores de Voltaje	- 42 -
2.18 Transistores de Potencia	- 43 -
2.18.1 Tipos de Transistores de Potencia	- 43 -
2.18.2 Transistor de unión bipolar	- 43 -
2.18.3 Transistor de unión unipolar o de efecto de campo	- 44 -
2.18.4 Transistor <i>Mosfet</i>	- 45 -
2.18.4. a Estados de Funcionamiento	- 46 -
2.18.5 Transistor IGBT	- 47 -
2.18.6 Transistor SIT	- 47 -
2.19 Convertidores D/A y A/D	- 47 -
2.19.1 Tipos fundamentales de Convertidores D/A y criterios de selección de ci comerciales.	- 48 -
CAPÍTULO 3	- 50 -
3.1 METODOLOGÍA	- 50 -
3.1.1 Método	- 50 -



3.1.2 justificación de la elección del método	- 50 -
3.1.2 Análisis del programa de estudio	- 51 -
3.2.1 Aplicación del programa de simulación multisim en la asignatura de electrónica III	- 55 -
3.2.2 Programa de Simulación de Multisim	- 55 -
<b>3.3.1 Herramientas de Multisim</b>	- 56 -
3.3.3. Captura y simulación de Multisim Demostración gráfica	- 58 -
3.3.4 Simulación Interactiva	- 67 -
<b>3.4.1 Prácticas recomendadas con la aplicación de Multisim</b>	- 73 -
CAPÍTULO 4	- 91 -
4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 91 -
4.2 GLOSARIO	- 93 -
4.3 BIBLIOGRAFIA	- 94 -
5. ANEXOS	- 97 -
5.1 Programa de Estudio de la asignatura de Electrónica III de La Universidad Católica Santiago de Guayaquil.	- 97 -
5.2 Programa de Estudio de la Asignatura de Electrónica de Potencia de Escuela Superior Politécnica del Litoral Espol.	- 99 -
5.3 Programa de Estudio de la asignatura de Electrónica de Potencia de la Universidad Nacional de Quilmes	- 104 -

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios diarios de la tecnología en nuestros días se debe principalmente a la creación de circuitos más pequeños y funcionales en todos los ámbitos de la vida del ser humano, desde equipos para facilitar la labor doméstica hasta equipos de comunicaciones sofisticados como terminales celulares, satélites, entre otros.

Durante el último cuarto del siglo XIX, tuvo sus inicios cuando Thomas Edison introdujo las válvulas de vacío al mundo de la ciencia, lo cual impulsó al estudio más a fondo de los mismos creando variaciones que llevarían al hombre a contar con inventos como son los sistemas de computación, la telefonía y una amplia variedad de artefactos que facilitaron el avance de la tecnología y mejoraron la calidad de vida del hombre.

Basados en el principio de las válvulas, se produjeron un sin número de mejoras de las mismas las cuales fueron desde los amplificadores, tetrodos, pentodos, etc., hasta llegar al transistor el cual se convertiría en la base de la mayoría de los circuitos electrónicos debido a la mejora que brindan sus propiedades a los mismos y dando paso de esta manera a los circuitos integrados los cuales parten de la utilización de transistores para lograr el proceso definido según su clasificación.

La unión efectiva de estos elementos han llevado al ser humano a lograr un gran avance en la tecnología, por lo que esta investigación se basa en el análisis de las diferentes disposiciones que pueden llegar a darse con estos elementos para luego poder ser llevados a un software en el cual podremos simular su uso y diferentes tipos de conexiones.

El programa que pretendemos usar es MULTISIM; es un software creado por *National Instruments* que simula todos los componentes e instrumentos necesarios para analizar, diseñar y verificar circuitos en reemplazo de los componentes e instrumentos reales.

Este programa está basado en mejoras a los algoritmos del SPICE ( *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis* = Programa de Simulación con énfasis en Circuitos

Integrados) que es un conjunto de algoritmos matemáticos para la simulación del análisis y diseño de circuitos analógicos y digitales.

Al analizar la exigencia del mundo laboral que requiere profesionales que se enfrenten a retos tecnológicos constantemente es posible darse cuenta que las bondades de este software pueden ayudar fácilmente con la necesidad de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de afianzar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula por medio de la práctica de los mismos; por esta razón esta investigación se basará en dar una herramienta de trabajo tanto para el Catedrático como para el estudiante de Electrónica III llevándolos a cumplir con la meta específica de todo aquel dedicado al estudio, la cual es la excelencia académica.

### **1.1 Planteamiento del Problema**

La asignatura de Electrónica III es dictada en el Sexto Ciclo de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo y por la gran importancia de los conocimientos que sobre este campo incluye esta materia, es considerada como común para las Carreras de Ingeniería Eléctrico-mecánica y de Ingeniería Telecomunicaciones, todas ellas dictadas en la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, de forma teórica, se ha consultado la opinión de los estudiantes los cuales han manifestado que se tiene la necesidad de aprender la parte teórica dictada con la parte práctica simulada en el mismo momento que se está explicando o dictando la teoría, esto constituye un serio problema para el estudiante de la facultad en su aprendizaje, el cual se siente minimizado en sus conocimientos para su vida profesional. Hallar una solución que permita interactuar la parte teórica con la práctica a través de un software de simulación daría a la materia un plus adicional de fortalecimiento de los conocimientos dictados a los estudiantes de forma de ejercicios prácticos pre-experimentales.

### **1.1.1 Delimitación del Problema.**

De acuerdo a lo planteado anteriormente, el tema es delimitado de la siguiente manera: Desarrollando ejercicios de simulación con la herramienta de software llamada Multisim y su posibilidad de agregarlos en un nuevo programa de estudio en la asignatura de Electrónica III, con la finalidad de reducir la complejidad y aumentando el entendimiento dinámico de los temas teóricos más significativos de la materia.

### **1.1.2 Justificación**

Los avances en cualquier campo necesitan mucha investigación dado el número de pruebas que se tienen que realizar para ajustar a la realidad la solución para un problema ya sea este acerca de la forma, funcionamiento, velocidad o comportamiento aplicado a un sujeto animado o inanimado; es aquí donde entra la gran importancia de conocer y entender la parte teórica de una materia y a partir de eso buscar la solución de un problema planteado ya que fundamentalmente esa es la razón por la que es necesario prepararse para ser ingenieros.

Como ya se indicó la electrónica es una de las bases de cualquier avance tecnológico tomando como punto de referencia el hecho de que el desarrollo en este campo enfatiza en tratar de hacer los dispositivos más pequeños, rápidos y con mayores capacidades de procesamiento o almacenamiento, esto es lo que se puede ver en el día a día ya sea cuando se manipula un teléfono celular, el modem de algún proveedor de internet, un dispositivo de almacenamiento USB o Disco externos, y el resto de dispositivos que ayudan a realizar las actividades cotidianas.

Si por una parte es sumamente importante asimilar la teoría que imparten los catedráticos en una carrera es también de mucha importancia poder poner en práctica lo que los estudiantes tratan de entender en las aulas que quizás en algunos casos se puede decir que al ver la situación aplicada ayuda a entender las palabras o el texto concerniente a una materia; por lo que se justifica el uso de herramientas que faciliten las pruebas de lo aprendido en clases y de alguna manera simular lo que en algún momento se usará en el campo laboral, por lo que en una materia técnica como lo es Electrónica III, el realizar

talleres de prácticas sobre lo aprendido en clases ayuda a alinear lo que se ve en la práctica con lo que se conoce en la parte teórica.

Estando conscientes de la importancia de la parte práctica de una materia y más aún si esta es una materia técnica como lo es Electrónica III y en lo que se basa el avance en este campo, considerando lo difícil que sería implementar siempre algo aprendido en clases ya que se tiene la posibilidad de cometer errores, por lo que la mejor manera de hacerlo sería simularlo usando un software apropiado especialmente para este fin, de esta manera se pueden realizar las pruebas y cambios que sean necesarios para obtener los resultados esperados teniendo el máximo rendimiento en la práctica.

Este trabajo de investigación plantea una labor en conjunto tanto de la parte teórica impartida en clases y la práctica dada en talleres explicativos, buscando no solo alcanzar a entender que es lo que sucede en cuanto a la materia si no también en algún punto mejorar lo aprendido invirtiendo más tiempo tratando de innovar sobre el tema del que se está tratando ya que es así como los avances tecnológicos salen adelante.

El uso del MULTISIM al tener herramientas que permiten simular el comportamiento de un circuito electrónico ya sea básico o complejo permitiría mostrar lo que se imparte en la materia Electrónica III y así complementar el actual pensum pasando de ser una materia mayormente teórica a una también aplicada que busca que los estudiantes visualicen que es lo que sucede en los componentes electrónicos o en los circuitos y así lograr que se involucren más en la materia no solo quedándose con lo aprendido en clases sino tratando de avanzar un poco más allá de texto ya que el programa permite hacer variantes que pueden afectar positivamente un circuito y de esta manera se va construyendo de a poco lo que toda carrera en todas las universidades en el mundo buscan, profesionales que vayan más allá de las aulas con la ayuda de las poderosas herramientas que están al alcance de todos actualmente aportando al desarrollo de nuevas soluciones generales que la electrónica plantea día a día.

## 1.2 ANTECEDENTES

En esta asignatura se analizan los sistemas Lineales y no Lineales de la Electrónica en función de la gran importancia que este campo del conocimiento tiene debido a que se ha convertido en algo prácticamente indispensable para la vida diaria, debido a los avances tecnológicos que se han producido, asimismo también cabe decir que es difícil encontrar a alguien que no haya oído mencionar la Electrónica, debido a que pocos saben en qué consiste. La mayor parte de las personas ven como una necesidad básica los servicios de la electrónica en todos los campos y considerando que los mismos no pueden funcionar sin los dispositivos electrónicos (celular, computadora, e internet), demuestra claramente lo importante que es la tecnología electrónica. Así por ejemplo, puede asegurarse que si en una empresa falta el internet o la informática en general, se produce un déficit tecnológico, puesto que se obstaculiza la empresa completa, debido a que la misma trabaja con sistemas informáticos, que permiten la realización de transacciones bancarias y comerciales, envíos de correo electrónico, entre otros.

La Electrónica ha originado una nueva era: la era digital, cambiando las formas de pensar de las personas, su forma de interactuar, sus costumbres a causa del desarrollo de la tecnología electrónica.

En el campo del Control y Automatismo, basta únicamente mencionar un par de ejemplos para demostrar la importancia que este campo posee en la vida moderna: los procesos industriales y la robótica; además del crecimiento de sistemas de automatización que está revolucionando el mundo tecnológico.

En Electrónica III se desarrollan temas acerca de los Generadores y Conformadores de Onda los dispositivos básicos de todo circuito electrónico y sus materiales constitutivos.

Así, el curso se inicia con una Evolución de la Electromecánica de Potencia como paso previo a la clasificación y tipos de conmutación y conversión, empezando desde el más sencillo, pero no por eso de singular importancia como es el diodo de potencia; en este punto del estudio se demuestra la importancia que reviste en la mayoría de las

aplicaciones la utilización de elementos ideales y circuitos equivalentes que por lo general son mucho más fáciles de analizar y evaluar que los dispositivos reales, pero que

sin embargo permiten obtener resultados que constituyen una excelente aproximación de los resultados reales; es importante notar en este punto que este concepto es la base para la utilización de programas simuladores para obtener resultados muy cercanos a los reales sin necesidad de utilizar dispositivos y circuitos reales.

Luego el curso continúa con el análisis de amplificadores, rectificadores, su análisis y diseño, su simulación y medición. También vamos a ver los tipos de Tiristores, convertidores trifásicos, el fenómeno de solapamiento, el ondulador y los osciladores.

Además de Estabilizadores de voltaje, los tipos de transistores de potencia, de unión bipolar, Mosfet, IGBT, Sit.

Adicionalmente hablaremos sobre la frecuencia tales como filtros RC y Conmutados PLL. Convertidores Digital Analógico y Analógico Digital. Circuitos de control de potencia.

Con estos antecedentes se establece la necesidad de incluir dentro del programa de Electrónica III alguna forma de brindar un complemento teórico-práctico para las clases teóricas de la asignatura. Por esta razón surge la idea de brindar a los estudiantes tales prácticas mediante un programa para simular dispositivos y circuitos electrónicos que sea al mismo tiempo fácil de utilizar y que permita obtener excelentes resultados.

Luego de analizar algunos programas simuladores, se consideró que el software más adecuado para implementar prácticas dentro de la asignatura de Electrónica III era MULTISIM puesto que es una de las aplicaciones más útiles que existen en el mercado.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Aplicar el software MULTISIM como herramienta de carácter práctico para el programa académico de la asignatura de Electrónica III de la Carrera de Ingeniería en Control y Automatismo.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Analizar el programa y syllabus de la asignatura Electrónica III y determinar las áreas del mismo que necesitan apoyo práctico.
- Estudiar el manejo del programa MULTISIM.
- Determinar las herramientas de MULTISIM necesarias para desarrollar los temas decididos.
- Determinar las prácticas que serán realizadas.



## **CAPÍTULO 2**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **ESTUDIO DE LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA CARRERA DE ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO.**

En la facultad hemos recibido el conocimiento de tres tipos de Electrónica, la analógica, la digital y la de potencia.

La Electrónica analógica trata sobre el estudio de los sistemas electrónicos en los cuales la información está codificada por medio de una señal eléctrica, bien sea una diferencia de potencial o una intensidad eléctrica. Trabaja con valores continuos de éstas variables.

En la Electrónica Analógica hemos visto los dispositivos analógicos como por ejemplo: el amplificador operacional, el condensador, el diodo, diodo zener, el inductor, el potenciómetro, el relé, el resistor o resistencia, el transistor, entre otros.

La electrónica digital estudia las señales eléctricas y considera valores discretos de tensión, corriente o cualquier otra medida; estos valores concretos determinados pueden ser estados altos o unos lógicos y estados bajos o ceros lógicos.

En la Electrónica digital hemos visto los dispositivos digitales como por ejemplo: el biestable, las memorias, los micro controladores, las puertas lógicas, entre otros.

La asignatura de Electrónica III en la carrera de Electrónica de control y Automatismo basa su estudio en la Electrónica de Potencia. La electrónica de Potencia es la que consigue adaptar y transformar la electricidad, con la finalidad de alimentar otros equipos, transportar energía y controlar el funcionamiento de máquinas eléctricas.

En la Electrónica de Potencia hemos visto los dispositivos de potencia como por ejemplo: el Diac, el Scr, el Tiristor, el Transformador, el Triac, el Varistor, entre otros.

A continuación, se procederá a detallar una breve descripción de los ítems y capítulos más relevantes en el estudio de la asignatura de Electrónica III, actualmente vigente en la carrera de

Electrónica de control y Automatismo, ya que sería muy extenso detallar todo el programa de estudios así como los fundamentos principales del software que será utilizado en el proceso.

## 2.1 Amplificadores Operacionales

El Amplificador Operacional es un dispositivo básico en el procesamiento de señales, en los dispositivos electrónicos. Es un elemento no lineal, aunque en muchas ocasiones se comporta como un elemento de circuito lineal. En la Electrónica analógica funciona como Amplificador y en la Electrónica Digital como inversor.

### 2.1.1 Aplicaciones lineales con Amplificador Operacional.

El Amplificador Operacional es un amplificador de gran ganancia, empleado para llevar a cabo múltiples funciones (filtrado analógico, rectificación, conmutación, acoplamiento...).

“Circuito integrado básico”

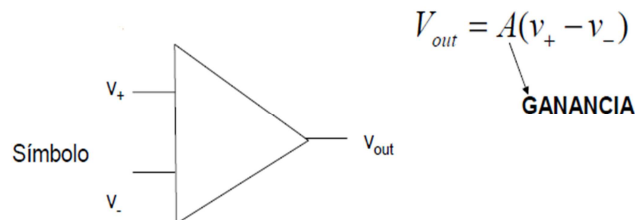


Fig. 1 “Circuito integrado básico” Con lazo o bucle abierto

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

Sistema en lazo abierto (sin realimentación):

A factor de amplificación en lazo abierto.

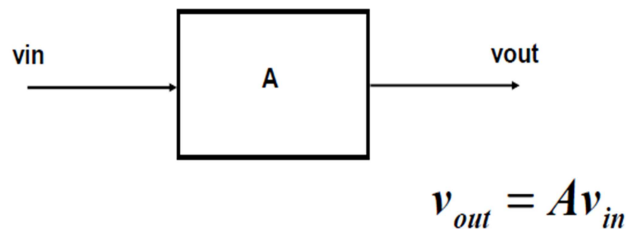


Fig. 2 Sistema en lazo abierto (sin realimentación)

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

Sistema en lazo cerrado (con realimentación):

$A_f$  = factor de amplificación en lazo cerrado.

$\beta$  = factor de realimentación (<0, realimentación negativa, >0 positiva)

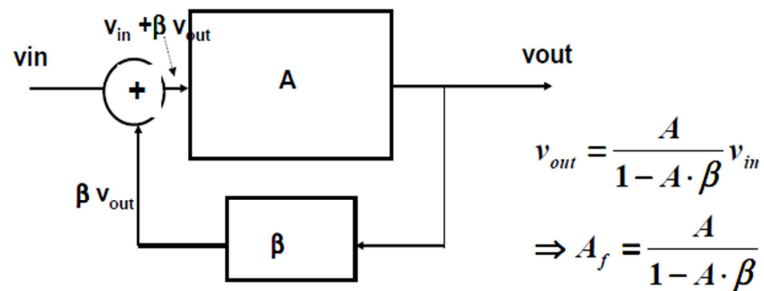


Fig. 3 Sistema de Lazo cerrado (con realimentación)

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

Entre sus características más importantes tenemos:

- La  $R_e$  es infinita, la  $I_e$  de entrada al Amplificador Operacional es cero.
- La  $R_s$  es cero, se comporta como una fuente ideal de tensión.
- Con retroalimentación negativa  $V_+ = V_-$  para que la salida sea distinta de más menos  $V_{cc}$ .

Posee una diversidad de funciones en el procesamiento de la señal:

- Amplificación
- Filtrado analógico
- Acoplamiento
- Rectificación
- Detección umbral
- Conmutación digital

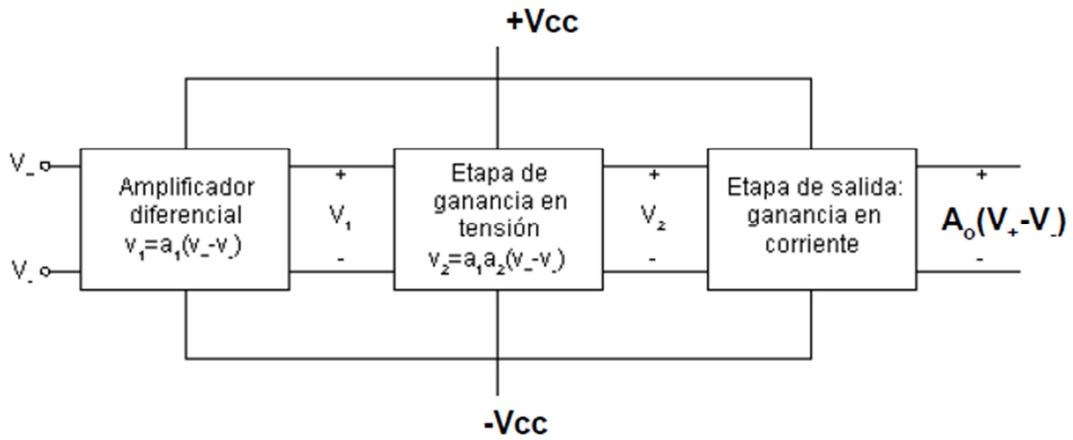


Fig. 4 El amplificador operacional como CI en bloque

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

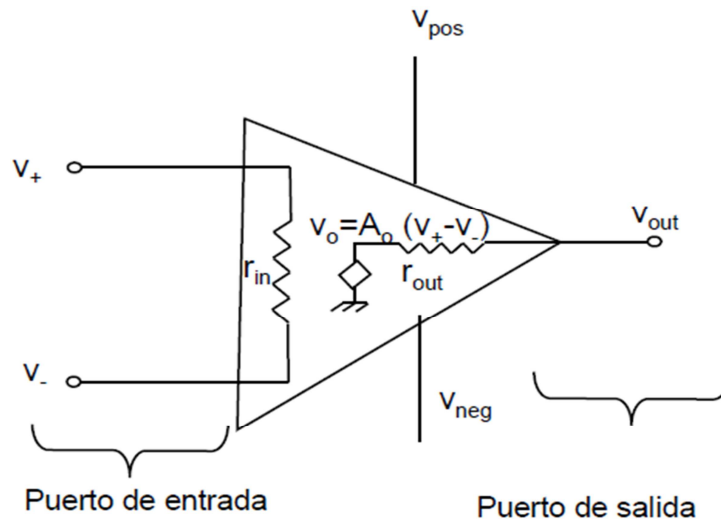


Fig. 5 Modelo simplificado del amplificador operacional

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

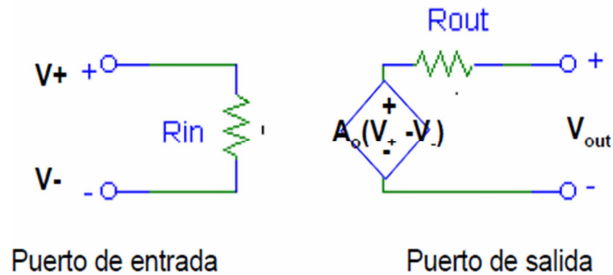


Fig. 5.a Circuito simplificado del amplificador operacional

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

### Valores típicos

$$10^4 \leq A_0 \leq 10^6$$

$$r_{in} \geq 10^6 \Omega$$

$$r_{out} \leq 100 \Omega$$

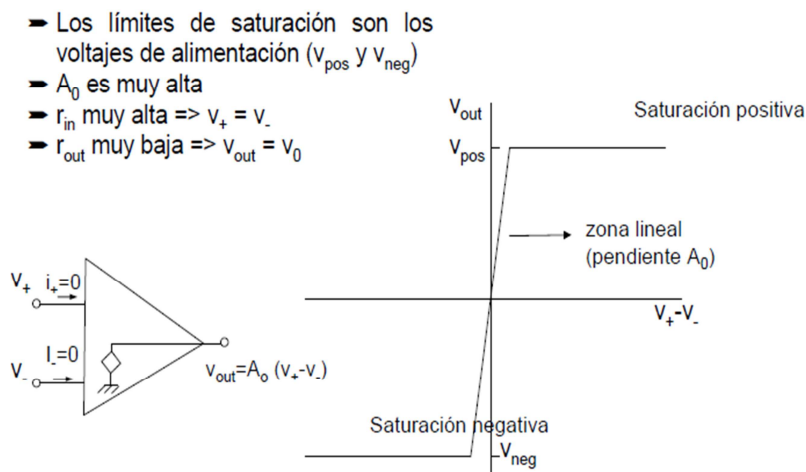
$V_o$  tiene como límites ideales  $v_{pos}$  y  $v_{neg}$

$$v_o = A_0(v_+ - v_-) \text{ si } v_{neg} \leq A_0(v_+ - v_-) \leq v_{pos}$$

$$v_o = v_{pos} \text{ si } A_0(v_+ - v_-) > v_{pos}$$

$$v_o = v_{neg} \text{ si } A_0(v_+ - v_-) < v_{neg}$$

Aproximación ideal del amplificador operacional:



**Fig.6 Zonas de trabajo del amplificador operacional**

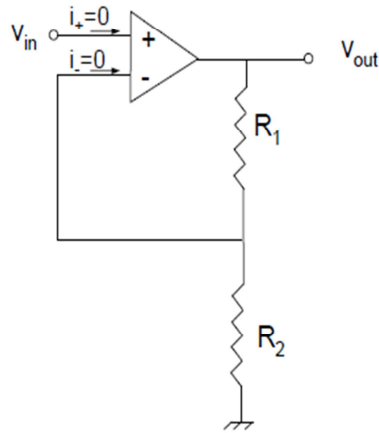
Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

Una aplicación lineal se tiene cuando un circuito se comporta idealmente y opera en condiciones de lazo cerrado ósea retroalimentación negativa. Las características dependerán de los valores externos ( ver fig. 6 ).

Su clasificación es la siguiente:

- Amplificador inversor
- Integrador
- Derivador
- Sumador
- Amplificador de Ganancia Positiva
- Amplificador Diferencial

### Amplificador no inversor



Función de transferencia

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_2 + R_1}{R_2}$$

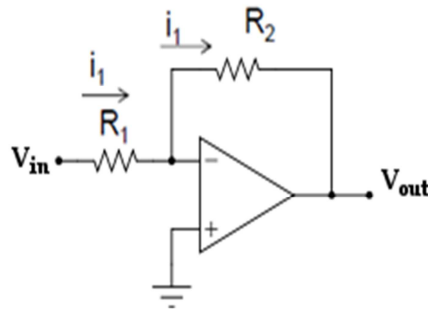
Resistencia de entrada

$$R_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = \infty$$

Fig. 6.a Amplificador No Inversor

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

### Amplificador inversor



Función de transferencia

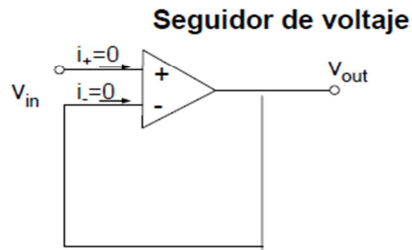
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Resistencia de entrada

$$R_{in} = \frac{v_{in}}{i_{in}} = R_1$$

Fig. 6.b Amplificador Inversor

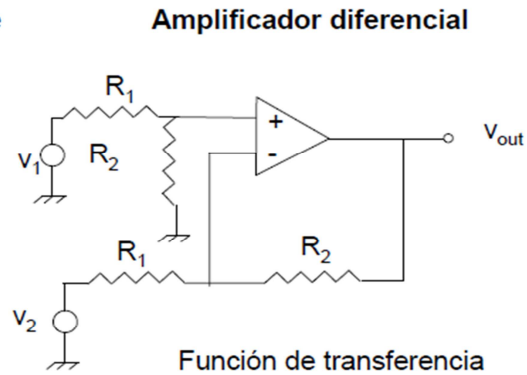
Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>



Función de transferencia

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = 1$$

Fig. 6.c Seguidor de Voltaje

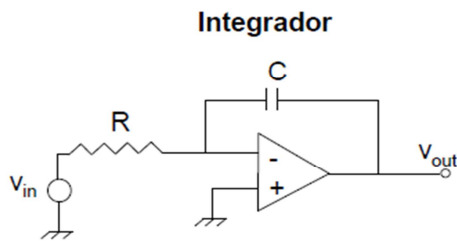


Función de transferencia

$$v_{out} = \frac{R_2}{R_1} (v_1 - v_2)$$

Fig. 6.d Amplificador Diferencial

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

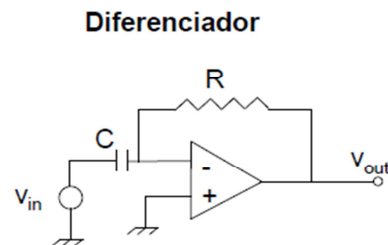


Función de transferencia

$$v_{out} = \frac{-1}{RC} \int v_{in} dt$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1}{j\omega R_1 c}$$

Fig. 6.e Integrador



Función de transferencia

$$v_{out} = -RC \frac{dv_{in}}{dt}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -j\omega CR_2$$

Fig. 6.f Diferenciador

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

### Amplificador sumador

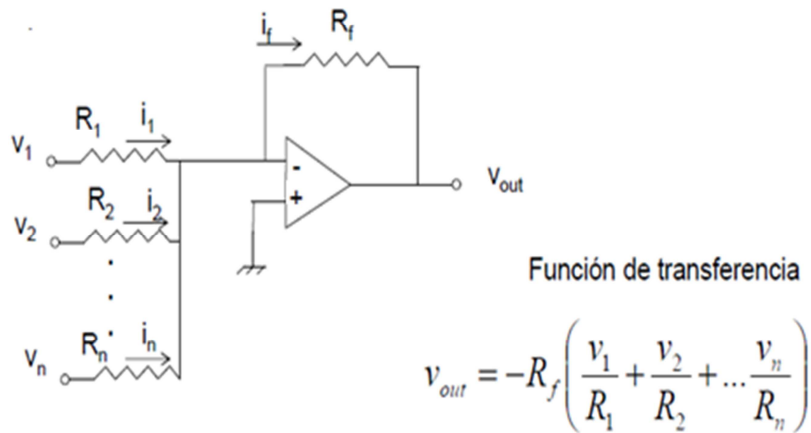


Fig. 6.g Amplificador Sumador

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

### 2.2.2 Aplicaciones no lineales con Amplificadores Operacionales

Es cuando los amplificadores operacionales están conectados sin retroalimentación por lo tanto se saturará. El Amplificador Operacional funciona en su zona no lineal excepto en las transiciones de V+ a V- ( ver fig. 6.h ).

Tienen muchas aplicaciones en el procesamiento de señales.

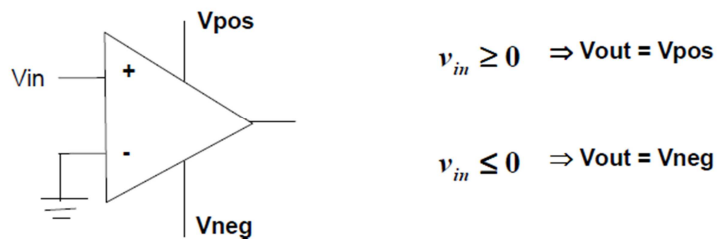
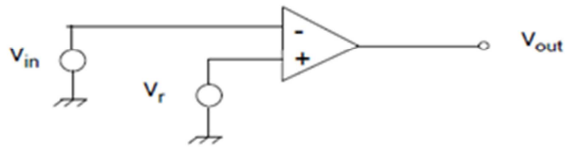


Fig. 6.h Voltajes de entrada y salida del Amplificador Operacional

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>



### Comparador e indicador de polaridad de lazo abierto



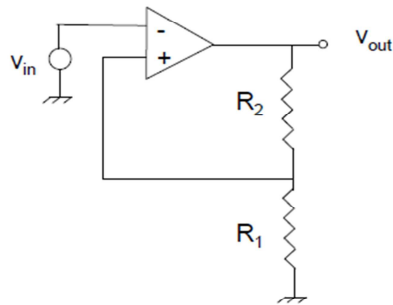
$$\text{Si } v_{in} > v_r \Rightarrow (v_{in} - v_r) > 0 \Rightarrow v_{out} = v_{neg}$$

$$\text{Si } v_{in} < v_r \Rightarrow (v_{in} - v_r) < 0 \Rightarrow v_{out} = v_{pos}$$

Fig.6.i Comparador e Indicador con polaridad en lazo abierto

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

### Disparador Schmitt (Utiliza retroalimentación positiva)



Función de transferencia con histéresis

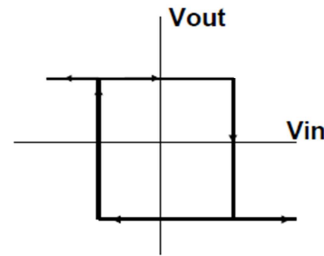


Fig. 6.j Disparador Schmitt con retroalimentación negativa

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

### Disparador Schmitt (Utiliza retroalimentación positiva)

Para  $v_{in} = 0 \Rightarrow v_{out}$  puede ser  $V_{pos}$  ó  $V_{neg}$ :

$$v_+ = \frac{v_{out} R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Si } v_{out} = v_{pos} \Rightarrow v_+ = \frac{v_{pos} R_1}{R_1 + R_2} \Rightarrow (v_+ - v_-) > 0 \Rightarrow v_{out} = v_{pos}$$

$$\text{Si } v_{in} > v_+ \Rightarrow (v_+ - v_-) < 0 \Rightarrow v_{out} = v_{neg} \Rightarrow v_+ = \frac{v_{neg} R_1}{R_1 + R_2}$$

$V_{out}$  sólo regresará a  $V_{pos}$  si  $V_{in}$  se hace más negativa que  $V_+$ , es decir si  $V_{in} = 0$

Fig. 6.k Disparador Schmitt con retroalimentación positiva

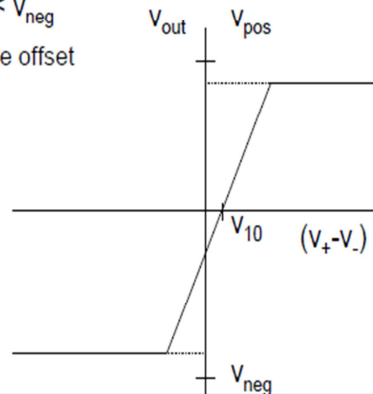
Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

### Propiedades no lineales de los AO

El AO real no es ideal  $\left\{ \begin{array}{l} A_0 \text{ finita} \\ r_{in} \text{ finita} \\ r_{out} \text{ no nula} \end{array} \right.$

- 1) Niveles de saturación de salida
- 2) Voltaje de desvío de entrada
- 3) Voltaje de desvío de salida
- 4) Corriente de polarización de entrada
- 5) Corriente de salida (limitada en un AO real)

$V_{sat \text{ pos}} < V_{pos}$   
 $V_{sat \text{ neg}} < V_{neg}$   
 tensiones de offset



$$V_{out} = A_0(V_{in} - V_{10})$$

$$V_{out}(0) = -A_0 V_{10}$$

$$I_{pol} = (I_+ + I_-)/2$$

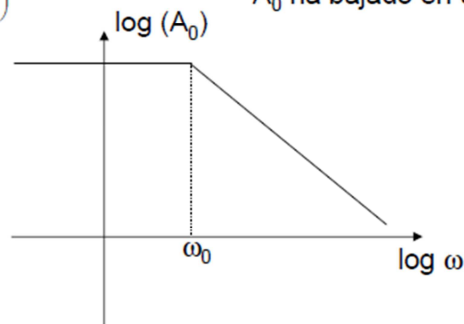
**Fig. 6.l Zonas de trabajo de los Amplificadores Operacionales**

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

Respuesta en frecuencia del AO: BW finito

$$A_0(j\omega) = \frac{A_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

$\omega_0$  es la frecuencia de corte, frecuencia a la que el módulo de  $A_0$  ha bajado en un 70 %



**Fig. 6.m Respuesta de Frecuencia del Amplificador Operacional**

Fuente: <http://laimbio08.escet.urjc.es/docencia/CEM/AO.pdf>

Como hemos visto después de los Amplificadores Operacionales vamos a detallar rápidamente los Orígenes de la Electrónica de Potencia para nuestro estudio.

## **2.3 Evolución de la Electrónica de Potencia**

La Electrónica de Potencia es la que combina la energía, la Electrónica y el Control. Sus inicios fueron en los años 1900 con la introducción del rectificador de arco de mercurio. Después vino el rectificador de tanque metálico, el de tubo 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.

En 1948, se inventó el transistor de silicio. La mayor parte de la tecnología moderna está basada en la misma. En 1956, inventaron el transistor de disparo PNP, que se definió como tiristor o rectificador controlado de silicio ( SCR ).

La segunda revolución electrónica comenzó en el año 1958, con el desarrollo del tiristor comercial aplicada en diferentes procesos industriales por lo que se desarrolla más entre los años de 1980 y 1990.

## **2.4 Clasificación y tipos de conmutación y conversión**

Para el control o el acondicionamiento de la Potencia eléctrica, es necesaria la conversión de la potencia eléctrica de una y otra forma, y que las características de conmutación de los dispositivos de potencia permitan esas conversiones. Los convertidores estáticos de potencia hacen esas funciones de conversiones de potencia. Un convertidor es una matriz de Conmutación. Los circuitos de Conmutación de Potencia se pueden clasificar en seis tipos:

- Rectificadores de Diodo
- Convertidores de ca-cd ( rectificadores controlados )
- Convertidores de ca-ca ( controladores de voltaje de ca )
- Convertidores de cd-cd ( convertidores de cd )
- Convertidores de cd-ca ( inversores )
- Interruptores estáticos.

### **2.4.1 Rectificadores de diodo.**

Un diodo es un dispositivo semiconductor que permite el paso de la corriente eléctrica en una única dirección. Un circuito rectificador de diodo convierte el voltaje de ca en voltaje

fijo de cd ( ver fig. 7 ). El voltaje de entrada  $V_i$  al rectificador podría ser Monofásico o Trifásico.

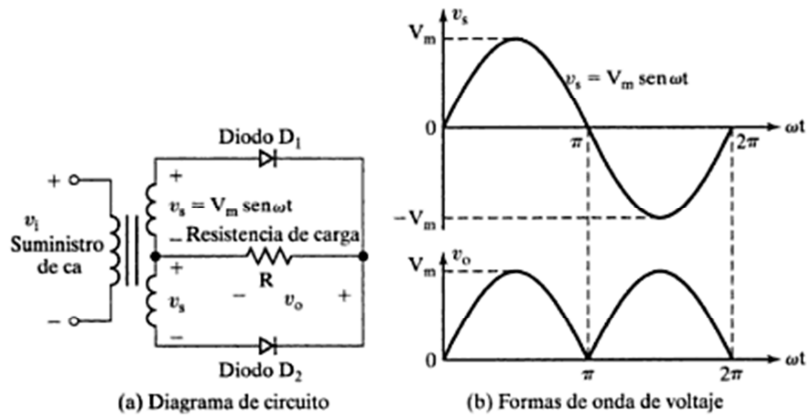


Fig. 7 Circuito rectificador monofásico de diodo

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

### 2.4.2 Convertidores de ca-cd.

El valor promedio del voltaje de salida  $V_o$  se puede controlar variando el tiempo de conducción de los tiristores, o le ángulo alfa de retardo de disparo ( ver fig. 7.a ). La entrada puede ser una fuente monofásica o trifásica. A ellos se los conoce como rectificadores controlados.

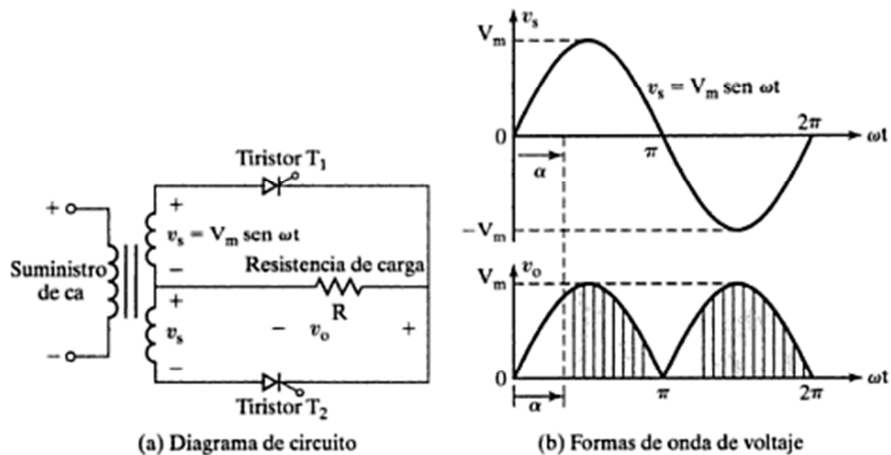


Fig. 7.a Convertidor ca-cd monofásico

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

### 2.4.3 Convertidores de ca-ca.

Se los utilizan para un voltaje variable de ca,  $V_o$ , con una fuente fija de ca, y un convertidor monofásico con un TRIAC. El voltaje de salida se controla variando el tiempo de un TRIAC, o el ángulo de retardo de disparo alfa. A ellos se los conoce como controladores de voltaje de ca ( ver fig. 7.b ).

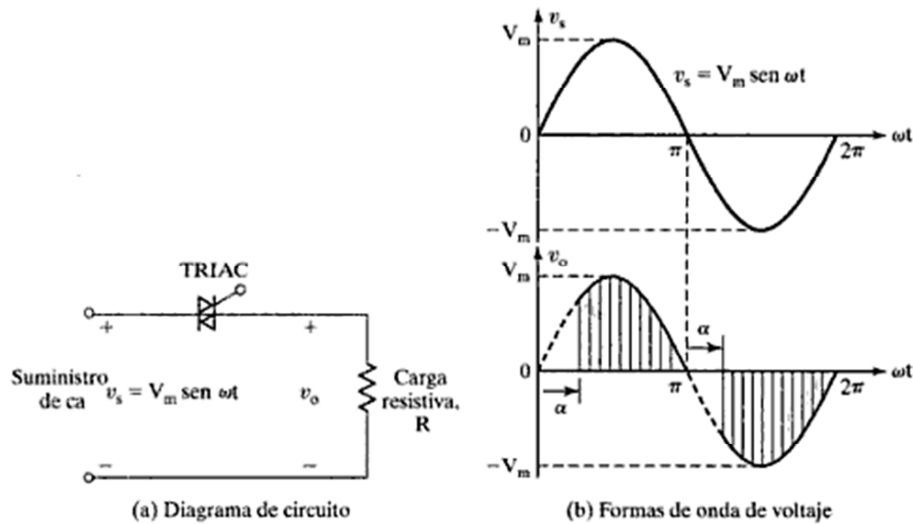


Fig. 7.b Convertidor ca-ca monofásico

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

### 2.4.4 Convertidores de cd-cd.

También conocido como recortador de picos o regulador de conmutación. El voltaje promedio de salida  $V_o$  se controla haciendo variar el tiempo de conducción  $t$  del transistor  $Q_t$  ( ver fig. 8 ).

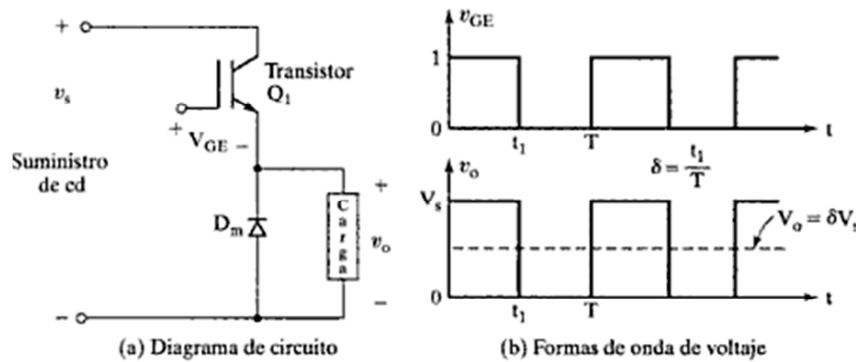


Fig. 8 Convertidor cd-cd

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

### 2.4.5 Convertidores de cd-ca.

También conocido como Inversor. El valor de voltaje se lo consigue variando el tiempo de conducción de los transistores ( ver fig. 9 ).

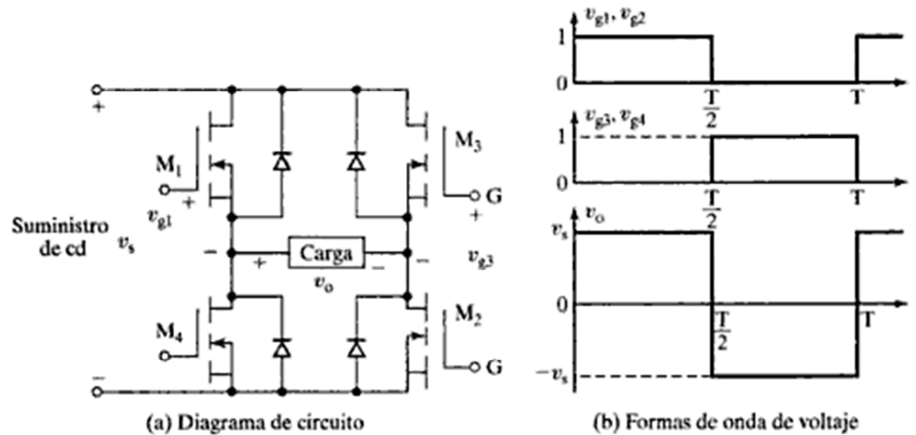


Fig. 9 Convertidor cd-ca monofásico

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

### 2.4.6 Interruptor estático

Estos dispositivos de potencia pueden ser operados como interruptores estáticos o contactores, cuya alimentación a estos interruptores pueden ser de ca o cd y se los conocen como interruptores estáticos de ca o interruptores de cd ( ver fig. 10 ).

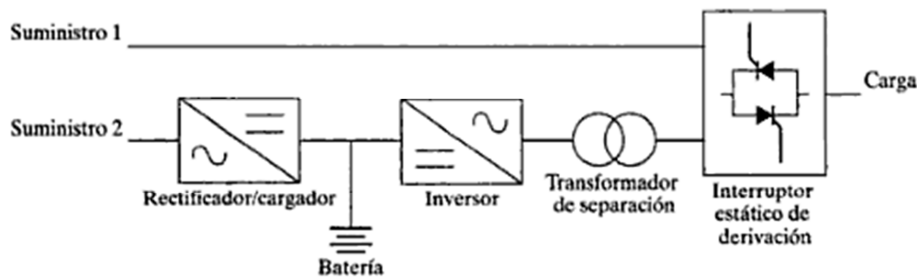


Fig. 10 Diagrama de bloques de una fuente de poder ininterrumpible

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

## 2.5 Diodos de Potencia

### 2.5.1 Características y Tipos de Diodos de Potencia

Los diodos de potencia son dispositivos electrónicos de unión PN de dos terminales, una unión PN está formada por aleación, difusión y crecimiento epitaxial ( ver fig. 11).

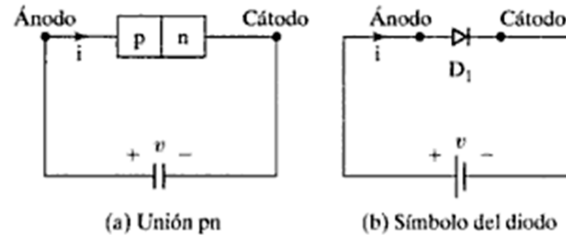


Fig. 11 Símbolo del diodo y unión PN

Fuente: Libro: **Electrónica de Potencia** Autor: **Muhammad H. Rashid - 2da. Edición**

Cuando el potencial del ánodo es positivo con respecto al cátodo, se dice que el diodo tiene polarización directa o positiva y el diodo conduce ( ver fig. 12 ). Un diodo en conducción tiene una caída de voltaje directa relativamente pequeña a través de sí mismo; la magnitud de esta caída de voltaje depende del proceso de manufactura y de la temperatura de la unión. Cuando el potencial del cátodo es positivo con respecto al ánodo, se dice que el diodo tiene polarización inversa. Bajo condiciones de polarización inversa, fluye una pequeña corriente inversa (conocida también como corriente de fuga) en el rango de los micros o miliamperios, cuya magnitud crece lentamente en función del voltaje inverso, hasta llegar al voltaje de avalancha o zener.

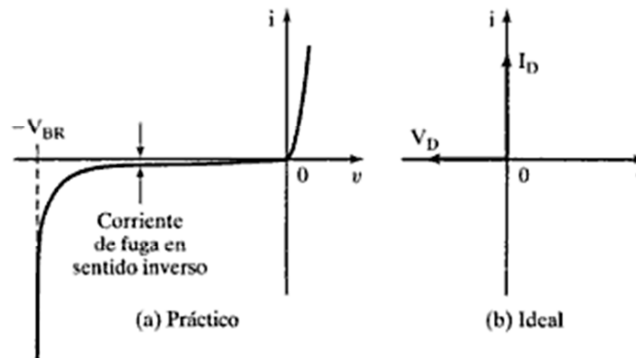


Fig. 12 Características v-i del diodo

Fuente: Libro: **Electrónica de Potencia** Autor: **Muhammad H. Rashid - 2da. Edición**

Existen varios tipos de regiones de polarización por ejemplo de polarización directa, inversa y de ruptura.

Las características de la recuperación inversa nos dice que la corriente de un diodo de unión de polarización directa se debe al efecto neto de los portadores mayoritarios y minoritarios. Cuando un diodo está en conducción directa y su corriente se reduce a cero, el diodo continúa conduciendo, debido a los portadores minoritarios que permanecen almacenados en la unión PN y en el material del cuerpo del semiconductor. Los portadores minoritarios requieren de un cierto tiempo para recombinarse con cargas opuestas y neutralizarse. Este tiempo se lo conoce como tiempo de recuperación inversa del diodo.

En muchas aplicaciones no son importantes los efectos del tiempo de recuperación inversa y se pueden usar diodos de un menor costo. Dependiendo de las características de recuperación y las técnicas de manufactura, los diodos de potencia se pueden clasificar en:

### **2.5.2 Diodos de Propósito General**

Tienen un tiempo de recuperación inversa relativamente grande, se utilizan en aplicaciones de baja velocidad, donde el tiempo de recuperación no es crítico ( 25 microsegundo ). Sus capacidades alcanzan máximo hasta los 1500 V, 400 A.

### **2.5.3 Diodos de recuperación rápida**

Ellos tienen tiempo de recuperación corto, en el caso normal, menor a 5 microsegundo. Se utilizan en convertidores. Alcanzan desde 50 V hasta 3 KV y de menos de 1 A hasta cientos de amperios ( ver fig. 13 ).



**Fig. 13 Diodos de recuperación rápida**

**Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición**



## 2.5.4 Diodos Schottky

Son ideales para fuentes de alimentación de gran corriente y gran voltaje de cd. Sin embargo esos diodos se usan en fuentes de poder de poca corriente para tener mayor eficiencia ( ver fig. 14 ).



**Fig. 14 Rectificadores centrales Schottky de 20 y 30 A duales.**

**Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición**

## 2.6 Circuitos Básicos con Diodos

Tenemos los siguientes circuitos:

- Serie ( diodos uno a continuación del otro ).
- Paralelo ( diodos en paralelo ).
- Mixto.

### 2.6.1 Diodos de carburo de silicio

El Carburo de Silicio ( SiC ), es un material nuevo en la electrónica de Potencia. Tienen pérdidas ultrabajas de potencia y gran fiabilidad ( ver fig. 15 ). También tienen las siguientes propiedades:

- No tienen tiempo de recuperación inversa.
- Comportamiento ultrarrápido en conmutación.
- La temperatura no influye sobre el comportamiento de conmutación.



**Fig. 15 Diodo de carburo de silicio**

**Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición**

## 2.6.2 Diodos con cargas LC y RL.

Aquí tenemos el diodo más las cargas LC y RLC y sus formas de onda respectivamente ( ver fig. 16.a y 16.b ).

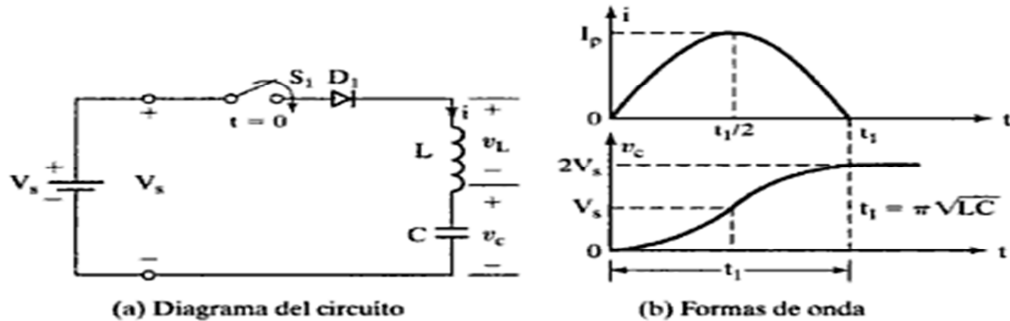


Fig. 16.a Circuito con una carga LC

Fig. 16.b Formas de Onda con una carga LC

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

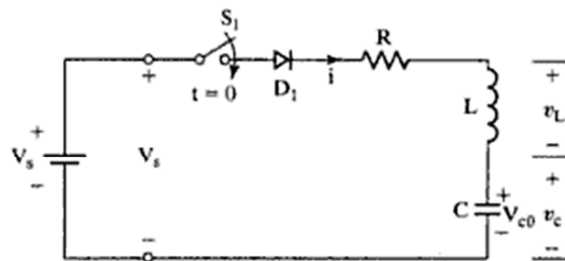
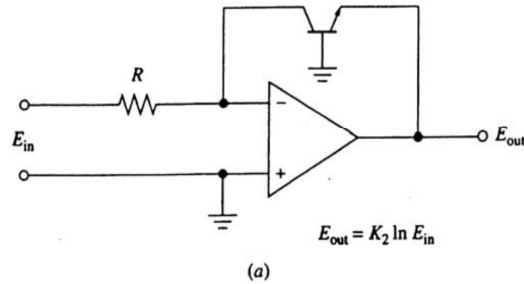


Fig. 17 Circuito con una carga RLC

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

## 2.7 Amplificadores Logarítmicos y Antilogarítmicos

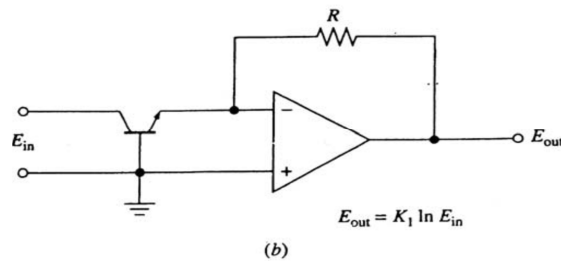
En un Amplificador Logarítmico, la salida es proporcional al logaritmo de la entrada. Este aprovecha la relación logarítmica entre la corriente que atraviesa a un dispositivo semiconductor y el voltaje que cae en él ( ver fig. 18 ). Dos dispositivos no lineales de este tipo son el diodo semiconductor y el transistor de unión bipolar ( BJT ).



**Fig. 18 Amplificadores Logarítmicos**

Fuente: <http://www.scribd.com/doc/7302731/Amplificadores-Logarítmicos-y-Antilogarítmicos>

En un Amplificador Anti logarítmico realiza la función inversa del amplificador logarítmico. Obtenemos esto sólo invirtiendo la posición del semiconductor y del resistor de entrada ( ver fig. 19 ).



**Fig. 19 Amplificadores Antilogarítmicos**

Fuente: <http://www.scribd.com/doc/7302731/Amplificadores-Logarítmicos-y-Antilogarítmicos>

Con lo visto, podrá imaginar que muchas funciones de transferencia pueden ser realizadas con amplificadores operacionales, el diseñador solo necesita saber cómo manipular correctamente las propiedades de la red de retroalimentación negativa.

En transistores bipolares el voltaje base-emisor es proporcional al logaritmo natural de la corriente de colector, esta dependencia logarítmica es aprovechada en los circuitos de un amplificador con función de transferencia logarítmica

La importancia del amplificador logarítmico radica principalmente en aplicaciones donde el rango dinámico de la señal de entrada es muy grande (varios órdenes de magnitud), pues si no se usa un amplificador logarítmico, para manejar las señales de mayor amplitud evitando saturación, las señales de menor amplitud se tendrían que operar en niveles muy bajos.

Los amplificadores logarítmicos son indicados en aplicaciones que requieran pocos puntos porcentuales de exactitud y debe evitarse su uso en donde se requiere alta exactitud. Según representación de las figuras a (Logarítmicas ) y b (Anti logarítmicas).

## 2.8 Rectificadores de precisión, circuitos de control y procesadores de señal

### 2.8.1 Rectificador de precisión

En ocasiones puede ser necesario rectificar una señal de baja amplitud. Con un diodo no se pueden rectificar señales de baja amplitud. Es necesario emplear un rectificador de precisión.

El rectificador de onda completa de precisión transmite una polaridad de la señal de entrada e invierte la otra. Es decir, se transmiten los dos semiciclos de un voltaje alterno, pero convirtiéndolos a una sola polaridad de la salida del circuito. Con un rectificador de onda completa de precisión se rectifican voltajes de entrada con amplitudes de rango de los milivoltios.

Este tipo de circuito sirve para preparar señales para la multiplicación, promediación o demodulación. Al rectificador de precisión se lo conoce como circuito de valor absoluto. La salida puede ser positiva o negativa, dependiendo de cómo estén instalados los diodos ( ver fig. 20 ).

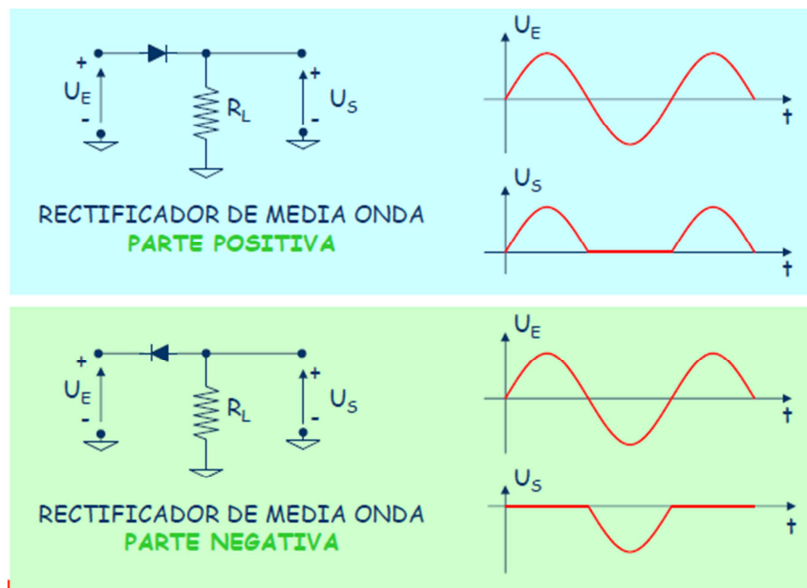


Fig. 20 Rectificadores de Media Onda Positivo y Negativo

Fuente: <http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=1366&bih=639&prmd=ivns&tbm=isch&source=univ&sa=X&ei=60IA TpHHFMfh0QGK5I D5CQ&ved=0CFgQsAQ&q=Rectificadores%20de%20Onda%20completa>

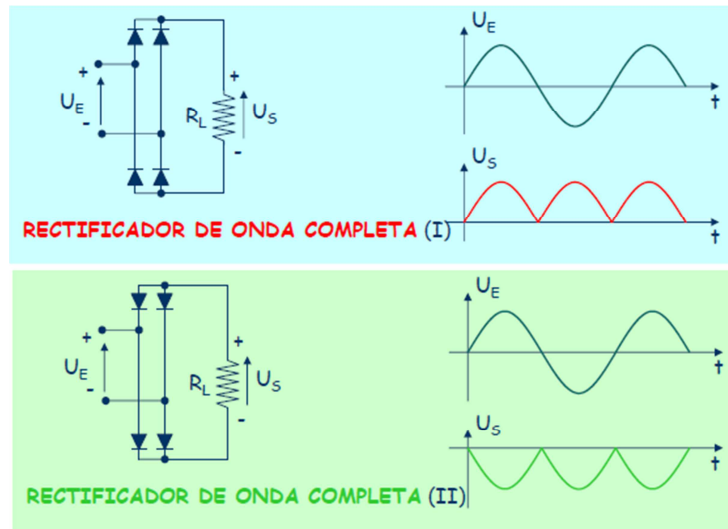


Fig. 21 Rectificadores de Onda completa

Fuente: <http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=1366&bih=639&prmd=ivns&tbm=isch&source=univ&sa=X&ei=60lATpHHFMfh0QGK5lD5CQ&ved=0CFgQsAQ&q=Rectificadores%20de%20Onda%20completa>

## 2.9 Circuitos de Control

Los circuitos de control para el manejo de la potencia eléctrica y en sí los sistemas industriales han existido por muchos años. Es una combinación de sistemas de potencia eléctrica, control de sistemas y electrónica ( ver fig. 22 ).

El circuito de control es la parte más delicada de la controladora, ya que se encarga de controlarla entradas (Puerto LPT, Entradas Analógicas, Entradas Digitales y circuito de potencia) y las salidas (Salidas Digitales).

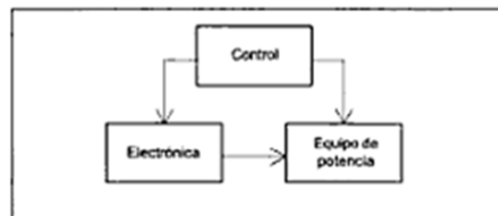
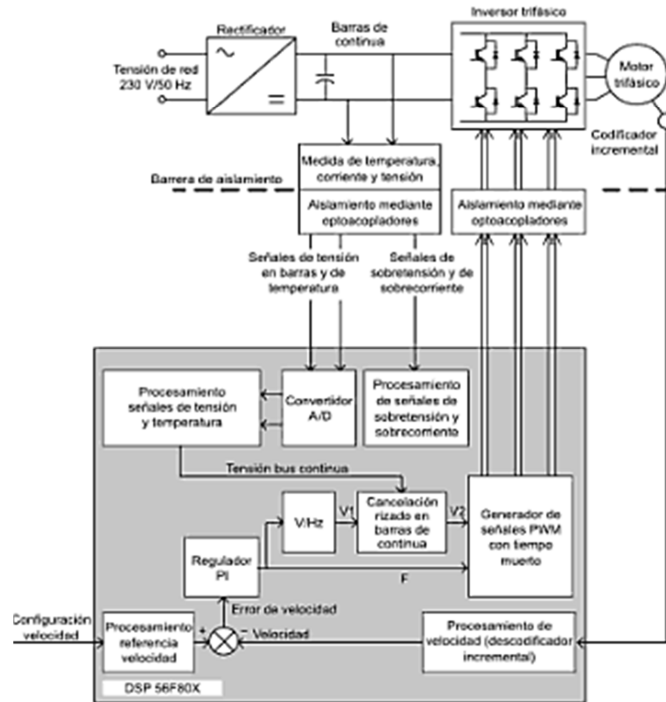


Fig. 22 Relaciones de la electrónica y otras disciplinas

Fuente: [http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=1366&bih=639&tbm=isch&sa=1&q=relaciones+de+electronica+y+otras+disciplinas&oq=r+elaciones+de+electronica+y+otras+disciplinas&aq=f&aqi=&aql=&gs\\_sm=e&gs\\_upl=1749811749810118908111101010101571157115-11110](http://www.google.com.ec/search?hl=es-419&biw=1366&bih=639&tbm=isch&sa=1&q=relaciones+de+electronica+y+otras+disciplinas&oq=r+elaciones+de+electronica+y+otras+disciplinas&aq=f&aqi=&aql=&gs_sm=e&gs_upl=1749811749810118908111101010101571157115-11110)

## 2.10 Procesadores de señal

Estos adaptadores, como acondicionadores de señal, son los amplificadores operacionales en sus diferentes estructuras de montaje, pasando por filtros o por procesadores analógicos, convirtiendo estas señales de analógico a digital para posteriormente ser procesados los datos con un DSP o Microcontrolador y actúan de por medio de las salidas lógicas del procesador o por medio de un convertidor digital a analógico ( ver fig. 23 ).



**Fig. 23 Diagrama de bloques de un sistema para control de motores utilizando el DSP modelo DSP56F80X de Motorola**

**Fuente: Libro de Electrónica de Potencia por salvador Martínez**

## 2.12 Generadores y Conformadores de Onda

Un generador de onda es todo aquel circuito que genera la onda que un equipo necesita. Básicamente se denominan osciladores, para generar la frecuencia deseada, y conformadores, para generar la forma de onda requerida ( ver fig. 24 ).

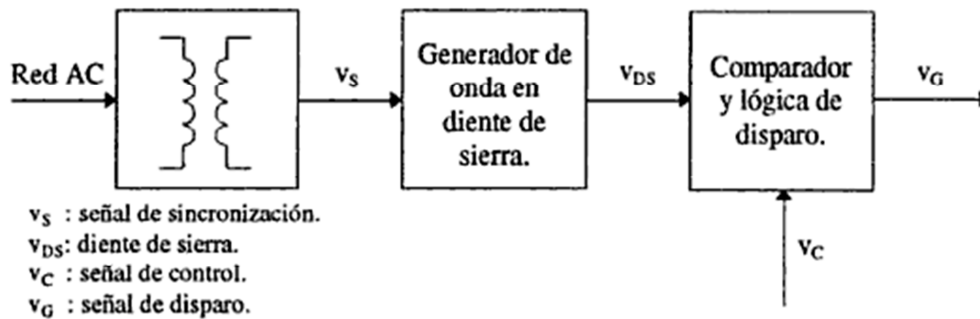


Fig. 24 Diagrama de bloques de un circuito generador de pulsos para el control de tiristores

Fuente: Libro de Electrónica de potencia por José Benavent García

### 2.13 Tipos de Tiristores

Los tiristores son una familia de dispositivos semiconductores de cuatro capas (pnpn), que se utilizan para controlar grandes cantidades de corriente mediante circuitos electrónicos de bajo consumo de potencia.

La palabra tiristor, procedente del griego, significa puerta. El nombre es fiel reflejo de la función que efectúa este componente: una puerta que permite o impide el paso de la corriente a través de ella. Así como los transistores pueden operar en cualquier punto entre corte y saturación, los tiristores en cambio sólo conmutan entre dos estados: corte y conducción.

Dentro de la familia de los tiristores, trataremos en este tutorial los tipos más significativos: *Diodo Shockley*, *SCR (SiliconControlledRectifier)*, *GCS (GateControlledSwitch)*, *SCS (SiliconControlledSwitch)*, *Diac* y *Triac*.

#### 2.13.1 El diodo *shockley*

El *diodo Shockley* es un tiristor con dos terminales: ánodo y cátodo. Está constituido por cuatro capas semiconductoras que forman una estructura pnpn ( ver fig. 25 ). Actúa como un interruptor: está abierto hasta que la tensión directa aplicada alcanza un cierto valor, entonces se cierra y permite la conducción. La conducción continúa hasta que la corriente se reduce por debajo de un valor específico ( $I_H$ ).

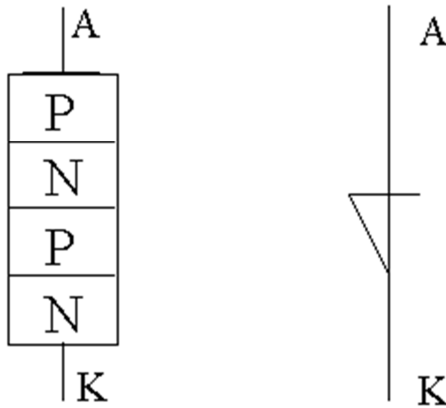


Fig. 25 Construcción básica y símbolo del diodo shockley

Fuente: <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

Para valores negativos del voltaje aplicado, como en un diodo, sólo habrá una corriente muy pequeña hasta que se alcance la tensión de ruptura ( $V_{rb}$ ) ( ver fig. 26 ).

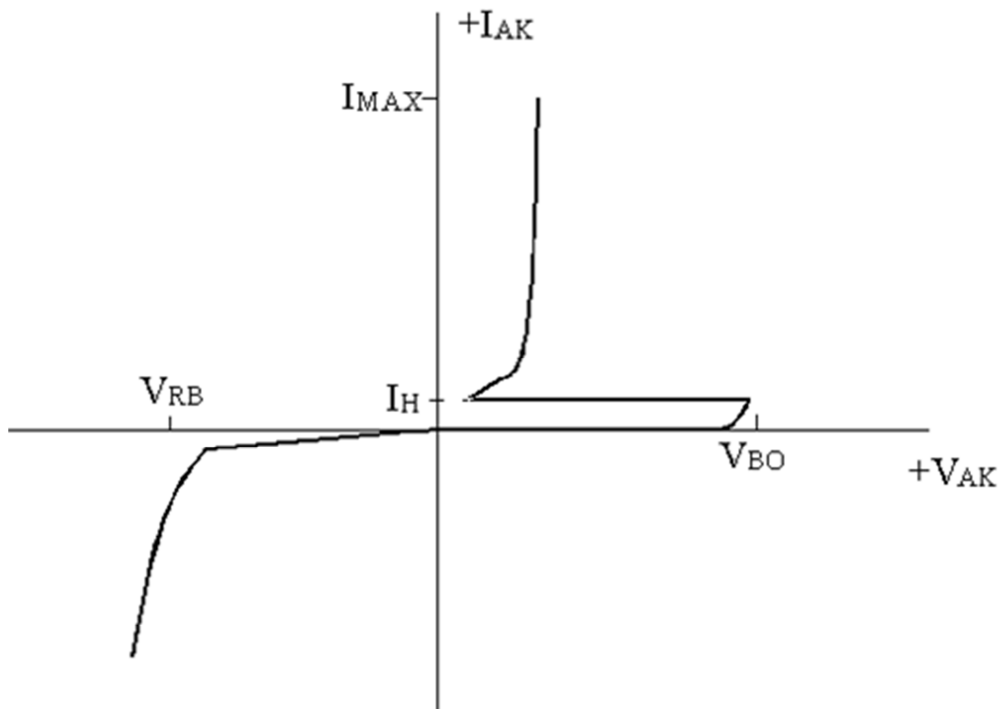


Fig. 26 Características I-V del diodo Shockley

Fuente: <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

### 2.13.2 SCR (*silicon controlle drectifier*)

El SCR es un dispositivo de cuatro capas muy similar al diodo Shockley, con la diferencia de poseer tres terminales: ánodo, cátodo y puerta (gate). Al igual que el diodo



*Shockley*, presenta dos estados de operación: abierto y cerrado, como si se tratase de un interruptor ( ver fig. 27 ).

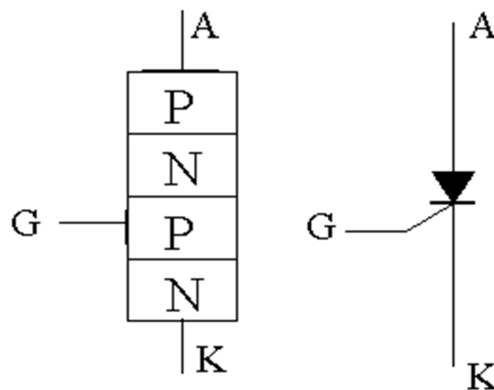


Fig. 27 Construcción básica y símbolo del SCR

Fuente: <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

La parte de polarización inversa es análoga a la del diodo *Shockley* ( ver fig. 28 ).

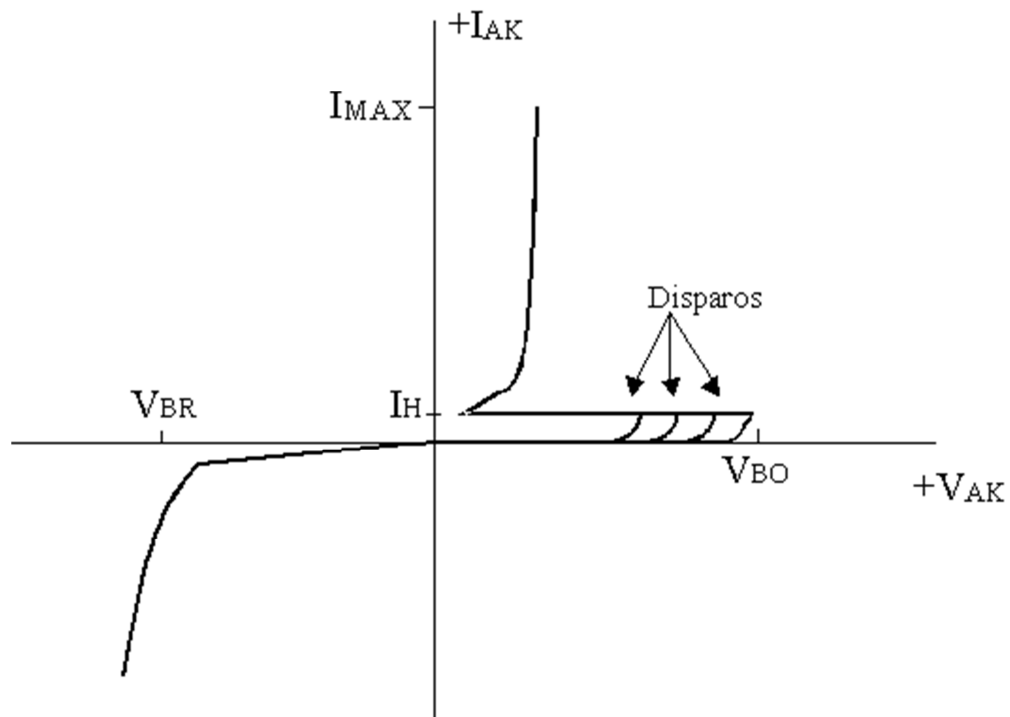


Fig. 28 Características del SCR

Fuente: <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

### 2.13.3 GCS (*gate controlled switch*)

Este dispositivo es similar al SCR, con la diferencia de que el GCS puede interrumpir el paso de corriente con una señal en el terminal de *gate* ( ver fig. 29 ).

Igual que el SCR, no permitirá el paso de corriente hasta que un pulso positivo se reciba en el terminal de puerta. La diferencia se encuentra en que el GCS puede pasar al estado de corte mediante un pulso negativo 10 ó 20 veces mayor que el pulso positivo aplicado para entrar en conducción.

Los GCS están diseñados para cargas relativamente pequeñas y pueden soportar sólo unas pocas decenas de amperios.

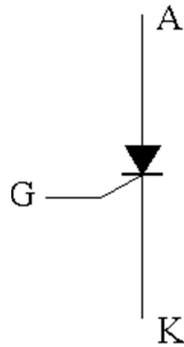


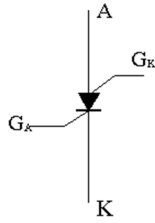
Fig. 29 Símbolo del GCS

Fuente: <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

### 2.13.4 SCS (*silicon controlled switch*)

Es similar en cuanto a construcción al SCR. La diferencia está en que posee dos terminales de puerta, uno para entrar en conducción y otro para corte. El SCS se suele utilizar en rangos de potencia menores que el SCR ( ver fig. 30 ).

El SCS tiene aplicaciones muy similares a las de SCR. Este último tiene la ventaja de poder abrirse más rápido mediante pulsos en cada uno de los terminales de *gate*, pero el inconveniente que presenta respecto al SCR es que se encuentra más limitado en cuanto a valores de tensión y corriente. También se utiliza en aplicaciones digitales como contadores y circuitos temporizadores.

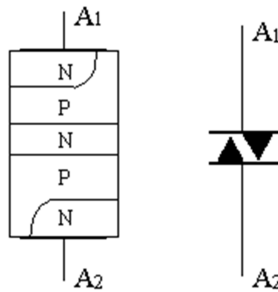


**Fig. 30 Símbolo del SCS**

Fuente: <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

### 2.13.5 El Diac

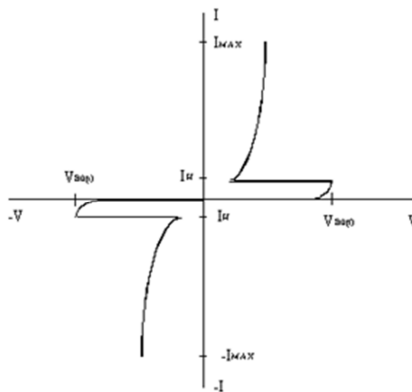
Es un tipo de tiristor que puede conducir en los dos sentidos. Es un dispositivo de dos terminales que funciona básicamente como dos diodos Shockley que conducen en sentidos opuestos( ver fig. 31 ).



**Fig. 31 Construcción básica y símbolo del Diac**

Fuente: <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

La curva de funcionamiento refleja el comportamiento del diac, que funciona como un diodo Shockley tanto en polarización directa como en inversa ( ver fig. 32 ).



**Fig. 32 Característica V-I del Diac**

Fuente: <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

### 2.13.6 El Triac

Este dispositivo es similar al diac pero con un único terminal de puerta (*gate*). Se puede disparar mediante un pulso de corriente de *gate* y no requiere alcanzar el voltaje  $V_{BO}$  como el diac ( ver fig. 33 ).

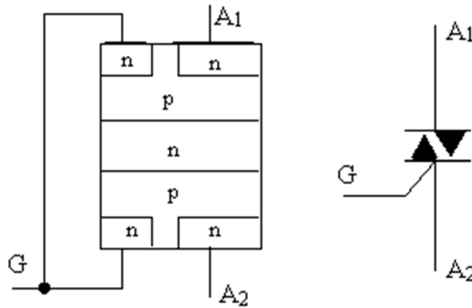


Fig. 33 Construcción básica y símbolo del Triac

Fuente: <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

En la curva nos indica que para diferentes disparos, es decir, para distintas corrientes aplicadas en *gate*, el valor de  $V_{b0}$  es distinto. En la parte de polarización positiva, la curva de más a la izquierda es la que presenta un valor de  $V_{b0}$  más bajo, y es la que mayor corriente de *gate* precisa en el disparo. Para que deje de conducir el dispositivo, como en el resto de los casos, hay que hacer bajar la corriente por debajo del valor  $I_h$  ( ver fig. 34 ).

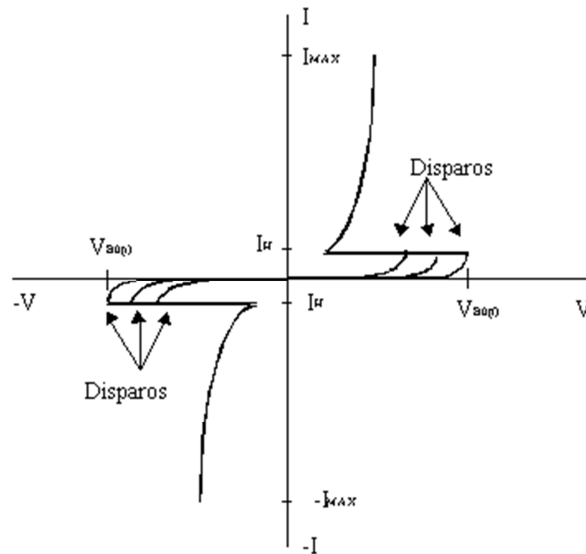


Fig. 34 Característica V-I del triac

Fuente: <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

### 2.13.7 Resumen

Como resumen final del tema se reflejan en una tabla las características más importantes de los tiristores que se han presentado ( ver fig. 34.a ).

<b>TIRISTOR</b>	<b>UNIDIRECCIONAL</b>	<b>BIDIRECCIONAL</b>	<b>1 GATE</b>	<b>2 GATE</b>	<b>0 GATE</b>	<b>ON/OFF</b>
<b>SHOCKLEY</b>	X				X	
<b>SCR</b>	X		X			
<b>GCS</b>	X		X			X
<b>SCS</b>	X			X		X
<b>DIAC</b>		X			X	
<b>TRIAC</b>		X	X			

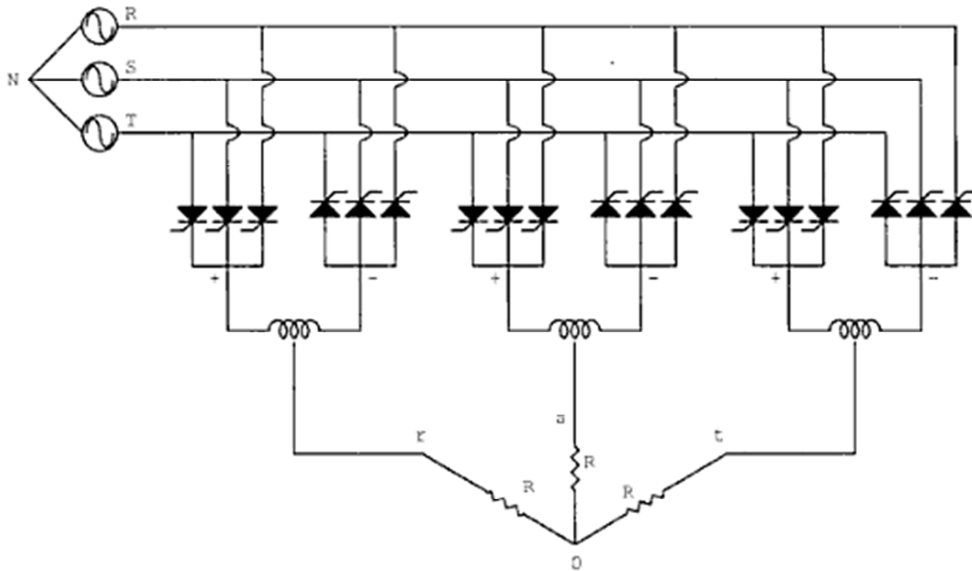
**Fig. 34.a Cuadro de Resumen de las características de los Tiristores**

**Fuente:** <http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/apuntes/electronbasic/10.htm>

### 2.14 Convertidores Trifásicos

Un Convertidor Trifásico es un dispositivo que produce potencia trifásica a partir de una fuente de alimentación monofásica. Se utilizan generalmente cuando obtener potencia trifásica desde la compañía de electricidad tiene un costo prohibitivo, o cuando no es siquiera una opción ( ver fig. 35 ).

Algunos ejemplos comunes de carga resistiva son los calefactores, máquinas EDM y hornos y estufas. Ejemplos de carga inductiva son las fuentes de alimentación, soldadoras y cargadores de baterías.



**Fig. 35** Ciclo convertidor trifásico de 18 tiristores

**Fuente:** Libro: *Electrónica de Potencia* Autor: *Muhammad H. Rashid* - 2da. Edición

### 2.15 Fenómeno de solapamiento

Las funciones principales de los circuitos electrónicos se basan en procesar esta información, como son la amplificación de señales débiles hasta un nivel con el cual se pueda trabajar; el generar ondas de radio; la extracción de información, como por ejemplo la recuperación de la señal de sonido de una onda de radio (demodulación); el control, como en el caso de introducir una señal de sonido a ondas de radio (modulación), y operaciones lógicas, como los procesos electrónicos que tienen lugar en las computadoras.

### 2.16 Funcionamiento como Ondulador

Un ondulador es un elemento de electrónica de potencia que alimentado por un potencial con una cierta frecuencia genera a su salida otro voltaje con una frecuencia distinta de la de entrada. También tenemos a la entrada Corriente Continua y a la salida Corriente Alterna ( ver fig. 36 ).

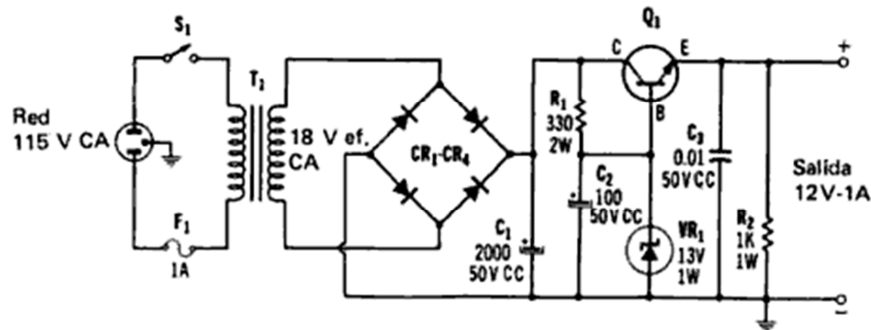


Fig. 36 Un inversor convierte la C.C. en C.A.

Fuente: <http://tec.upc.es/el/TEMA-5%20EP%20%28v1%29.pdf>

## 2.17 Estabilizadores de Voltaje

Este dispositivo es un tipo especial de diodo que diferencia del funcionamiento de los diodos comunes, como el diodo rectificador, el diodo Zener siempre se utiliza en polarización inversa. La principal aplicación que se le da al diodo Zener es la de regulador. Un regulador con zener ideal mantiene un voltaje fijo predeterminado a su salida, sin importar si varía el de fuente de voltaje de  $V_2$ , valor de la amplitud y frecuencia de la señal senoidal para los circuitos de aplicación general ( ver fig. 37 ).



- C<sub>1</sub>: 2000 µF 50 V CC condensador electrolítico
- C<sub>2</sub>: 100 µF 50 V CC condensador electrolítico
- C<sub>3</sub>: 0,01 a 0,5 µF, 50 V condensador cerámico disco
- CR<sub>1</sub> a CR<sub>4</sub>: Diodos silicio 1N4002
- F<sub>1</sub>: Fusible 1 A 120 V CA
- Q<sub>1</sub>: Transistor potencia silicio NPN 2N5191
- S<sub>1</sub>: Interruptor palanca 120 V CA 2 A
- T<sub>1</sub>: Transformador alimentación, primario 115 V, secundario 18 V 1,2 a 2 A (Radio Shack 273-1514 o equivalente)
- VR<sub>1</sub>: Diodo zener 13 V 1 W tipo 1N4743A

Fig. 37 Esquema de una fuente de alimentación estabilizada.

Fuente: <http://www.hispavila.com/3ds/lecciones/lecc3.htm>

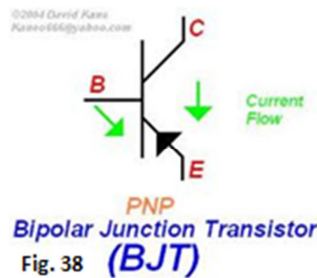
## 2.18 Transistores de Potencia

### 2.18.1 Tipos de Transistores de Potencia

El transistor es un dispositivo electrónico semiconductor que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. A continuación se presentarán los principales tipos de transistores.

### 2.18.2 Transistor de unión bipolar

El transistor de unión bipolar BJT, se fabrica a base de Germanio, Silicio o Arseniuro de Galio los cuales tienen cualidades semiconductoras (ver fig. 38). Se contaminan en forma muy controlada tres zonas del mismo, dos de las cuales son del mismo tipo, NPN o PNP, quedando formadas dos uniones PN. La zona N con elementos donantes de electrones (cargas negativas) y la zona P de aceptadores o "huecos" (cargas positivas).



Fuente: [http://insayne\\_kokane.tripod.com/diodes.shtml](http://insayne_kokane.tripod.com/diodes.shtml).

La configuración de uniones PN, dan como resultado transistores PNP o NPN, donde la letra intermedia siempre corresponde a la característica de la base, y las otras dos al emisor y al colector las cuales tienen diferente contaminación entre ellas (por lo general, el emisor está mucho más contaminado que el colector) (ver fig. 39).

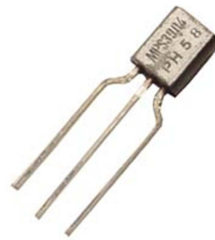


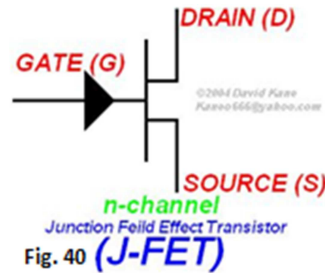
Fig. 39 Transistor de unión bipolar

Fuente: Fuente: [http://insayne\\_kokane.tripod.com/diodes.shtml](http://insayne_kokane.tripod.com/diodes.shtml)



### 2.18.3 Transistor de unión unipolar o de efecto de campo

El transistor de unión unipolar, también llamado de efecto de campo de unión (JFET), está formado por una barra de material semiconductor de silicio de tipo N o P. En los terminales de la barra se establece un contacto óhmico y se obtiene así un transistor de efecto de campo tipo N de la forma más básica ( ver fig. 40 )



Fuente: <http://electronicequipment12.blogspot.com/2009/11/jfet.html>

<http://www.electroniccircuits.com/electronic-circuits/sensitive-rf-voltmeter-probe/>

El transistor de efecto de campo, o FET, es en realidad una familia de transistores la cual basa su comportamiento en el campo eléctrico para de esta manera controlar el paso de electrones en un "canal" de un material semiconductor, es decir, controla la corriente en función de una tensión. Los FET también son considerados como resistencias las cuales son controladas por una diferencia de potencial ( ver fig. 41 ).

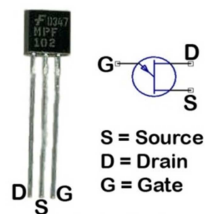


Fig. 41 Transistor de Efecto de campo

<http://www.electroniccircuits.com/electronic-circuits/sensitive-rf-voltmeter-probe/>

Los FET poseen tres terminales, llamados :compuerta (*gate*), drenaje (*drain*) y fuente (*source*). La puerta es el terminal equivalente a la base del BJT.

Como ya se había planteado el transistor de efecto de campo funciona como un interruptor el cual es controlado por tensión, donde el voltaje que se aplica a la puerta permite o no el flujo de corriente entre el drenaje y la fuente.

Los transistores bipolares se dividen en NPN y PNP, de la misma manera los FET también presentan una clasificación la cual es de dos tipos: canal n y canal p, esta clasificación depende de la aplicación de una tensión positiva en la puerta lo cual pondrá al transistor en estado de conducción o no conducción.

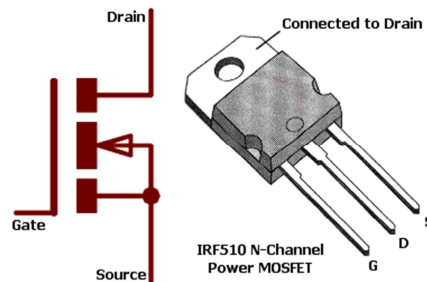
El Transistor de efecto de campo de unión, JFET, es un dispositivo electrónico construido mediante una unión PN, es decir, un circuito el cual reaccionará dando valores de salida según los valores eléctricos de entrada que se aplique. Debido a que la familia de JFETs, forma parte de los transistores de efecto de campo eléctrico, los valores de entrada proporcionados son las tensiones eléctricas, en si es la tensión entre los terminales S (fuente) y G (compuerta). Dependiendo de este valor, la salida del transistor mostrará una curva característica la cual definirá en ella tres zonas con ecuaciones definidas: corte, óhmica y saturación.

De esta manera el voltaje entre los terminales definirá dos zonas: la activa y zona de corte dependiendo de la tensión aplicada.

#### **2.18.4 Transistor *Mosfet***

El Transistor de efecto de campo MOS, conocido como MOSFET, consiste en un transistor de efecto de campo basado en la estructura *MOS* donde *MOS* significa Metal-Óxido-Semiconductor, en este caso la compuerta es metálica y está separada del canal semiconductor por una capa de óxido.

En la actualidad este transistor es el más utilizado en la industria microelectrónica. Se puede decir que prácticamente la totalidad de los circuitos integrados de uso comercial están basados en transistores MOSFET ( ver fig. 42 ).



**Fig. 42 Transistor Mosfet**

Fuente: <http://gamnet.galeon.com/mosfet.htm>

La base de la construcción de un transistor MOSFET reside en un sustrato de material semiconductor dopado y en el que, por medio de técnicas de difusión de dopantes, se crean dos islas de tipo opuesto separadas por un área sobre la cual se hace crecer una capa de dieléctrico culminada por una capa de conductor. Los transistores MOSFET se clasifican en dos tipos fundamentales dependiendo de cómo se haya realizado el dopaje:

- Tipo nMOS: Sustrato de tipo p y difusiones de tipo n.
- Tipo pMOS: Sustrato de tipo n y difusiones de tipo p.

Así como en los JFET los terminales o áreas de difusión se denominan fuente(source) y drenaje (drain), y el conductor entre ellos es la compuerta(gate).

#### **2.18.4. a Estados de Funcionamiento**

Otra característica del transistor MOSFET es que posee tres estados de funcionamiento:

- **Estado de corte:** Cuando la tensión de la puerta es idéntica a la del sustrato, el MOSFET está en estado de no conducción: ninguna corriente fluye entre fuente y drenaje.
- **Conducción lineal:** Al polarizarse la puerta con una tensión negativa (pMOS) o positiva (nMOS), se crea una región de deflexión en la región que separa la fuente y el drenaje. Si esta tensión crece lo suficiente, llegará un punto en el que aparecerán portadores minoritarios (electrones en pMOS, huecos en nMOS) en la región de deflexión que darán lugar a un canal de conducción. El transistor pasa entonces al estado de conducción, de modo que una diferencia de potencial entre

fuente y drenaje resultará en la existencia de una corriente. Cabe mencionar que el transistor se comporta como una resistencia controlada por la tensión de puerta.

- **Saturación:** Cuando la tensión entre drenaje y fuente supera cierto límite, el canal de conducción bajo la compuerta sufre un estrangulamiento en las cercanías del drenaje y desaparece. La corriente entre fuente y drenaje no se interrumpe, ya que es debido al campo eléctrico entre ambos, pero se hace independiente de la diferencia de potencial entre ambos terminales.

### 2.18.5 Transistor IGBT

Son Transistores de Potencia controlados, són más rápidos que los BJT pero no tan rápidos que los MOSFET. Las características són hasta 1700V, 2400 A y una frecuencia de hasta 20 MHz ( ver fig. 43 ).

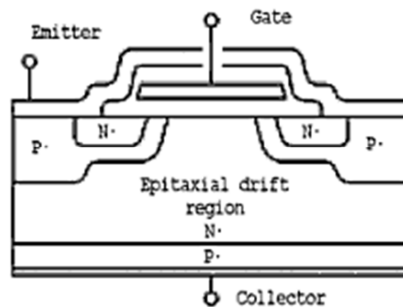


Fig. 43 Transistor IGBT

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

### 2.18.6 Transistor SIT

Es un dispositivo electrónico de alta potencia y alta frecuencia. Tiene posibilidades de poco ruido, poca distorsión y alta potencia en audiofrecuencia. Los tiempos de cerrado y abierto son muy cortos y alcanzan hasta los 20 microsegundos. Alcanzan hasta los 1200V, 300 A y la velocidad de conmutación es de 100Khz.

### 2.19 Convertidores D/A y A/D

En el caso del convertidor Digital/Analógico, tenemos a la entrada una señal digital y a su salida tenemos una señal analógica.

En el caso del convertidor Analógico/Digital, tenemos a la entrada una señal analógica y a la salida una señal Digital.

### **2.19.1 Tipos fundamentales de Convertidores D/A y criterios de selección de comerciales.**

En el caso

Existen varios métodos y circuitos para un convertidor D/A:

- De resistencias ponderadas.
- De escalera
- De código de termómetro
- Corrientes segmentadas o sigma delta

Existen varios métodos y circuitos para un convertidor A/D:

- Paralelo o Flash
- Semi paralelo o half-flash
- De rampa en escalera
- Rastreador o de seguimiento
- De pendiente simple
- De aproximaciones sucesivas

### **2.20 Circuito de Control de Potencia**

Existen varios y entre los más comunes tenemos:

- Rectificadores Monofásicos
- Trifásicos

Haciendo una comparación entre los rectificadores monofásicos y trifásicos tenemos que:

- La corriente de línea contiene más distorsión armónica en los monofásicos que en los trifásicos.
- Lo anterior lleva a un mejor factor de potencia en los trifásicos.
- Inferior rizado de  $I_d$  en los rectificadores trifásicos, lo que lleva a condensadores de menores capacidades.

- Menor regulación de  $V_d$ , de vacío a plena carga en los rectificadores trifásicos ( generalmente  $< 5\%$  ).

## 2.21 Inversores

Los inversores són circuitos estáticos que producen una tensión o intensidad alterna a partir de una fuente de corriente continua. Está conformado de transistores y tiristores de potencia

Los inversores se usan mucho en aplicaciones industriales y se pueden clasificar en:

- Inversores Monofásicos, ellos utilizan una sola fase ( ver fig. 44 ).

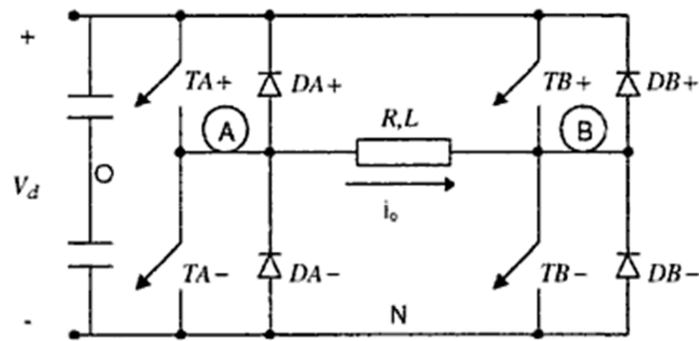


Fig. 44 *Inversor monofásico en puente*

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

- Inversores trifásicos, ellos utilizan 3 fases ( ver fig. 45 ).

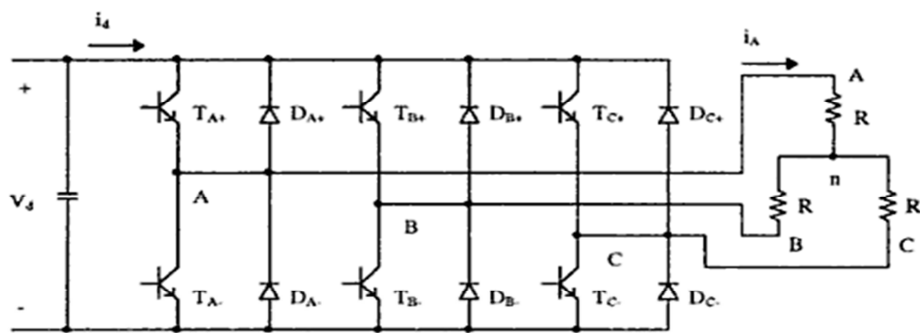


Fig. 45 *Esquema del inversor trifásico*

Fuente: Libro: Electrónica de Potencia Autor: Muhammad H. Rashid - 2da. Edición

## **CAPÍTULO 3**

### **3.1 METODOLOGÍA**

#### **3.1.1 Método**

Los métodos utilizados y aplicados en este estudio de Tesis son:

- Método de Análisis y Síntesis.
- Método de la Inducción y Deducción
- Método de Medición y Observación

#### **3.1.2 Justificación de la elección del método**

Estos métodos fueron considerados por las siguientes razones:

Primero hemos realizado un análisis de todo el contenido de la materia de Electrónica III de la carrera de Electrónica en control y Automatismo y encontramos que el programa es muy general y sólo basa su estudio en conceptos, funcionamiento y características generales de los diferentes dispositivos y elementos de la Electrónica Industrial como tal, es por cuya razón nos vimos obligados a realizar una síntesis de lo más rescatable del programa ya establecido en la carrera.

Adicionalmente lo que queremos obtener es un programa que sea más interactivo con el estudiante y que pueda abarcar desde lo más simple a lo más complejo, como conceptos y funcionamiento de los diferentes dispositivos de la Electrónica Industrial, pero que también abarque circuitos de equipos industriales basados en los conceptos y dispositivos explicados anteriormente de una forma razonable y lógica.

Finalmente todo esto llevarlo a la práctica con la ayuda del computador y con la simulación utilizando una poderosa herramienta moderna de simulación, análisis y medición, para que los estudiantes puedan observar los distintos sucesos y formas de señales que los circuitos y dispositivos arrojan en el momento de su funcionamiento.

### 3.1.2 Análisis del programa de estudio

A continuación confrontaremos el programa de Electrónica III impartido en la Facultad Técnica para el desarrollo de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil con el programa impartido en las mismas carreras de otras Universidades, una de Ecuador y la otra de Argentina.

**Cuadro de Contenido de Estudios de la Asignatura de Electrónica III de distintas Universidades.**

<b><sup>1</sup>Programa de Estudio de la Materia de Electronica III en la carrera de Control y Automatismo de la Facultad Técnica para el desarrollo de la UCSG</b>	<b><sup>2</sup>Programa de Estudio de la Materia de Electrónica de Potencia en la carrera de Ingeniería en Electricidad de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación de la Universidad Politecnica del Litoral</b>	<b><sup>3</sup>Programa de Estudio de la Materia de Electrónica de Potencia en la carrera de Ingeniería en Automatización y control Industrial de la Universidad Nacional de Quilmes Argentina</b>
<b>I. Sistemas Lineales y no Lineales utilizando Amplificadores Operacionales.</b> <b>Contenidos Específicos:</b> Evolución de la Electrónica de Potencia. Clasificación y tipos de conmutación y conversión. Características y tipos de diodos de potencia. Circuitos básicos con Diodos. Amplificadores logarítmicos y antilogarítmicos. Rectificadores de precisión así como circuitos de control y procesadores de señal. Análisis, diseño, simulación, montaje y medición.	<b>I. Introducción a los sistemas de conversión de energía para el manejo de altas potencias</b> <b>Contenidos Específicos:</b> Introducción. Campos de aplicación de la Electrónica de Potencia. Clasificación de los sistemas de conversión de energía en la Electrónica de Potencia. <u>Software de programación y simulación utilizado en el análisis y diseño de sistemas de conversión de energía. Ejemplos de la utilización de la Electrónica de Potencia en los diversos sectores de la Industria Ecuatoriana. El futuro de la Electrónica de Potencia.</u>	<b>I.Introducción:</b> ¿Qué es la electrónica de potencia? La electrónica de potencia versus la electrónica lineal. Naturaleza interdisciplinaria de la electrónica potencia. Metas y métodos de la conversión de energía eléctrica. Clasificación de los convertidores de potencia eléctrica. Clasificación de las llaves de acuerdo a su grado de controlabilidad y de acuerdo al sentido de las tensiones y corrientes que manejan. Pérdidas en las llaves: por conducción y por conmutación. Características de los principales dispositivos electrónicos usados como llaves: Diodo de potencia, Tiristor y transistores BJT, MOSFET e IGBT.
<b>II. Generadores y Conformadores de Onda.</b> <b>Contenidos específicos:</b> Tipos de Tiristores. Convertidores trifásicos. Fenómeno de solapamiento. Funcionamiento como ondulator. Criterios generales de oscilación para osciladores sinusoidales y de relajación. Circuitos generadores de ondas sinusoidales, de ondas	<b>II. Semiconductores de Potencia.</b> <b>Contenidos específicos:</b> Clasificación General de los semiconductores de potencia. Diodos de Potencia. Tiristores: SCRs, GTOs. Transistores de potencia: BJT, MDs, MOSFET, SIT, IGTB. <u>Modelos y curvas características para los semiconductores de potencia</u>	<b>II. Conversión ca-cc - rectificadores controlados.</b> Rectificador de media onda, onda completa monofásico y trifásico. Diferentes tipos de carga. Régimen de conducción continua y discontinua. Diodo de rueda libre. Efecto de conmutación.

<sup>1</sup>Fuente: Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil

<sup>2</sup>Fuente: Pagina Web de la Escuela Superior Politécnica del Litoral

<sup>3</sup>Fuente : Pagina Web de la Facultad de Ingeniería en Automatización y control Industrial de la U.N.Q.



<p>rectangulares y triangulares. Análisis, diseño, montaje y medición.</p>	<p><u>utilizando SPICE Y MATLAB.</u> Circuitos de protección de dispositivos semiconductores.</p>	
<p><b>III: Estabilizadores de Voltaje.</b> <b>Contenidos específicos:</b> Tipos de transistores de potencia. Transistor de unión bipolar. Transistor de MOSFET. Transistor IGBT. Transistor SIT. Esquemas con elementos discretos y CI de estabilizadores analógicos y de conmutación. Análisis, diseño, montaje y medición.</p>	<p><b>III: Sistemas de rectificación no controlada conmutados por línea.</b> <b>Contenidosespecíficos:</b> Rectificadores monofásicos de media onda: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz. Rectificadores monofásicos de onda completa con transformador de toma intermedia: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz. Rectificadores monofásicos de onda completa tipo puente: combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz. Rectificadores trifásicos de media onda: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz. Rectificadores trifásicos tipo puente de onda completa: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz. Rectificadores de doce pulsos: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz. Configuraciones especiales de sistemas de rectificación no controlada. Efectos de la inductancia de la fuente de alimentación en la conmutación de corriente y coordinación de protecciones de los rectificadores no controlados. <u>Simulación y análisis armónico de los sistemas de rectificación no controlada mediante el uso de SPICE Y MATLAB.</u></p>	<p><b>III. Conversión cc-cc - fuentes conmutadas topologías para conversión cc-cc.</b> El convertidor directo y el convertidor indirecto. Convertidores básicos con un solo interruptor: reductor, elevador y reductor-elevador. Conducción continua y discontinua. Convertidores aislados. Convertidores con más de un interruptor.</p>
<p><b>IV. Circuitos selectivos de frecuencia tales como filtros RC y conmutados. PLL</b> <b>Contenidos específicos:</b> Análisis. Diseño. Simulación. Montaje y Medición.</p>	<p><b>IV: Sistemas de rectificación controlada conmutados por línea</b> <b>Contenidos específicos:</b>Rectificadores controlados monofásicos de media onda: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz. Rectificadores controlados monofásicos de onda completa con transformador de toma intermedia: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz. Rectificadores controlados monofásicos de onda completa tipo puente: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz, operación con corriente continua y discontinua, operación en el modo rectificador y modo inversor. Rectificadores controlados trifásicos de media onda: : Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.Rectificadores controlados trifásicostipo puente de onda completa: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz, operación con</p>	<p><b>IV.Conversión cc-ca - inversores autónomos</b> Convertidor CC-CA de tensión: medio puente, puente completo monofásico y puente trifásico. Inversor de onda cuadrada. Técnicas de control de amplitud. Modulación por anchura de impulsos (PWM).</p>

	<p>corriente continua y discontinua, operación en el modo rectificador y modo inversor. Rectificadores controlados de doce pulsos: combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz. Configuraciones especiales de sistemas de rectificación controlada. Efectos de la inductancia de la fuente de alimentación en la conmutación de corriente y coordinación de protecciones de los rectificadores controlados. <u>Simulación y análisis de armónicos de los sistemas de rectificación controlada mediante el uso de SPICE Y MATLAB.</u></p>	
<p><b>V. Convertidores D/A y A/D. parámetros.</b>  <b>Contenidos específicos:</b> Tipos fundamentales de convertidores D/A y A/D. Criterios de selección de CI comerciales. Aplicaciones básicas.</p>	<p><b>V. Sistemas controladores de voltaje alterno.</b>  <b>Contenidos específicos:</b> Conmutados por línea. Clasificación de los controladores de voltaje alternos conmutados por línea. Controladores monofásicos de media onda y onda completa: Señales de disparo, análisis armónico. Controladores trifásicos de media onda y onda completa conectados en estrella: Señales de disparo, análisis armónico. Controladores trifásicos de media onda y onda completa conectados en delta: Señales de disparo, análisis armónico. Arrancadores suaves ( estáticos ) y controles de velocidad para motores de inducción trifásicos con rotor jaula de ardilla basados en controladores de voltaje alterno: Análisis y parametrización de sistemas para aplicaciones industriales. Cambiadores automáticos de pasos para el control de voltaje de transformadores de tomas múltiples: Análisis del circuito de control y disparo. Simulación y análisis de armónicos de los sistemas controladores de voltaje alterno <u>mediante el uso de SPICE Y MATLAB.</u></p>	<p><b>V. Aplicaciones de los convertidores estáticos</b>  Sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS). Correctores de Factor de Potencia (PFC). Filtros Activos de Potencia (APF). Sistemas de transmisión de CA flexibles (FACTS). Sistemas de Conversión de Energías Alternativas (Eólica, Solar, etc.). Accionamientos de Máquinas Eléctricas de CC y de CA (Motor Drives).</p>
<p><b>VI: Circuito de Control de Potencia</b>  <b>Contenidos específicos:</b> Rectificadores monofásicos y Polifásicos. Inversores.</p>	<p><b>VI. Técnicas de conmutación de circuitos con Tiristores.</b>  <b>Contenidos específicos:</b> Clasificación de las técnicas de conmutación. Conmutación de línea. Conmutación de carga. Conmutación forzada. <u>Análisis de circuitos de conmutación con SPICE Y MATLAB.</u></p>	<p><b>VI. Evaluación</b>  Se efectuará de la siguiente manera:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>Presentación de trabajos prácticos</u> sobre cada uno de los temas, que serán evaluados oralmente.</li> <li>2) Presentación de un trabajo final (individual o realizado en comisiones de no más de dos alumnos). <u>Se deberá elaborar un informe con el desarrollo teórico del trabajo, los resultados del análisis y las simulaciones.</u> Los temas de dicho trabajo serán propuestos por el docente. El trabajo será evaluado oralmente.</li> </ol>

De acuerdo al cuadro presentado hemos analizado lo siguiente:

- Lo que hemos observado es que la asignatura en otras Universidades en la carrera de Electrónica en Control y Automatismo se llama Electrónica de Potencia y no Electrónica III.
- El pensum de estudios de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil no integra en todos sus capítulos las herramientas y programas de prácticas y Simulación, a diferencia de las otras Universidades.
- Falta de información del programa completo de la materia de Electrónica III en la página Web de la Facultad Técnica para el Desarrollo.
- Hemos observado que en los contenidos de estudios de la asignatura de las tres Universidades, no existen prácticas reales de laboratorio porque en la malla curricular en el caso de la Espol, hay una materia sucesora de Laboratorio de Electrónica de Potencia y en el caso de la Universidad Nacional de Quelmes de Argentina, se dedican a la elaboración de trabajos prácticos en cada uno de las unidades o capítulos como evaluación , en el caso del contenido de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil es reducido.
- El contenido del pensum de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, no abarca una considerable cantidad de temas aplicados a la especialización.
- Falta complementar en el programa de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, un contenido mas actualizado con respecto a Sistemas de Conversión de Energías Alternativas.

### **3.2.1 Aplicación del programa de simulación multisim en la asignatura de electrónica III**

Primero explicaremos de forma sencilla las principales bondades que tiene el programa de Simulación Multisim, partiendo desde su concepto, utilización, funcionamiento y descripción hasta la elaboración de una guía rápida para su aprendizaje y demostración con el computador.

### **3.2.2 Programa de Simulación de Multisim**

MULTISIM es un lenguaje de alta ejecución para desarrollo técnico, este integra tanto la visualización como la programación en un ambiente muy fácil de usar donde los problemas y soluciones son expresados gráficamente.

Los usos típicos de este programa incluyen:

- Matemáticas y computación
- Desarrollo de algoritmos
- Adquisición de datos
- Simulación y desarrollo de prototipos
- Análisis de datos, exploración y visualización
- Gráficos científicos y de ingeniería
- Desarrollo de aplicaciones, incluyendo el desarrollo de interfaces graficas de usuario

### **ANTECEDENTES**

Inicialmente, el Instituto Berkeley de los Estados Unidos, desarrolló el programa SPICE (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis* = Programa de Simulación con Énfasis en Circuitos Integrados) que es un conjunto de algoritmos matemáticos para la simulación del análisis y diseño de circuitos analógicos (circuitos con resistencias, condensadores, bobinas, baterías y otros componentes más).

Introduciendo mejoras a los algoritmos del SPICE, la empresa canadiense *Interactiv eImage Technologies Ltd.*, desarrolla los programas *Electronics Workbench* y últimamente la versión Multisim; con capacidad gráfica e interactiva para construir y verificar circuitos analógicos (y/o) digitales.

El Multisim, es un programa que simula todos los componentes e instrumentos necesarios para analizar, diseñar y verificar circuitos en remplazo de los componentes e instrumentos reales ( ver fig. 46 ).

El circuito ensamblado y verificado con el Multisim, se puede enviar a un programa llamado *Ultiboard*, también de la empresa *Electronics Workbench* (National Instruments), que se encarga de desarrollar el dibujo para el circuito impreso con lo que el proyecto quedaría completo.



**Fig. 46 Presentación de Multisim**

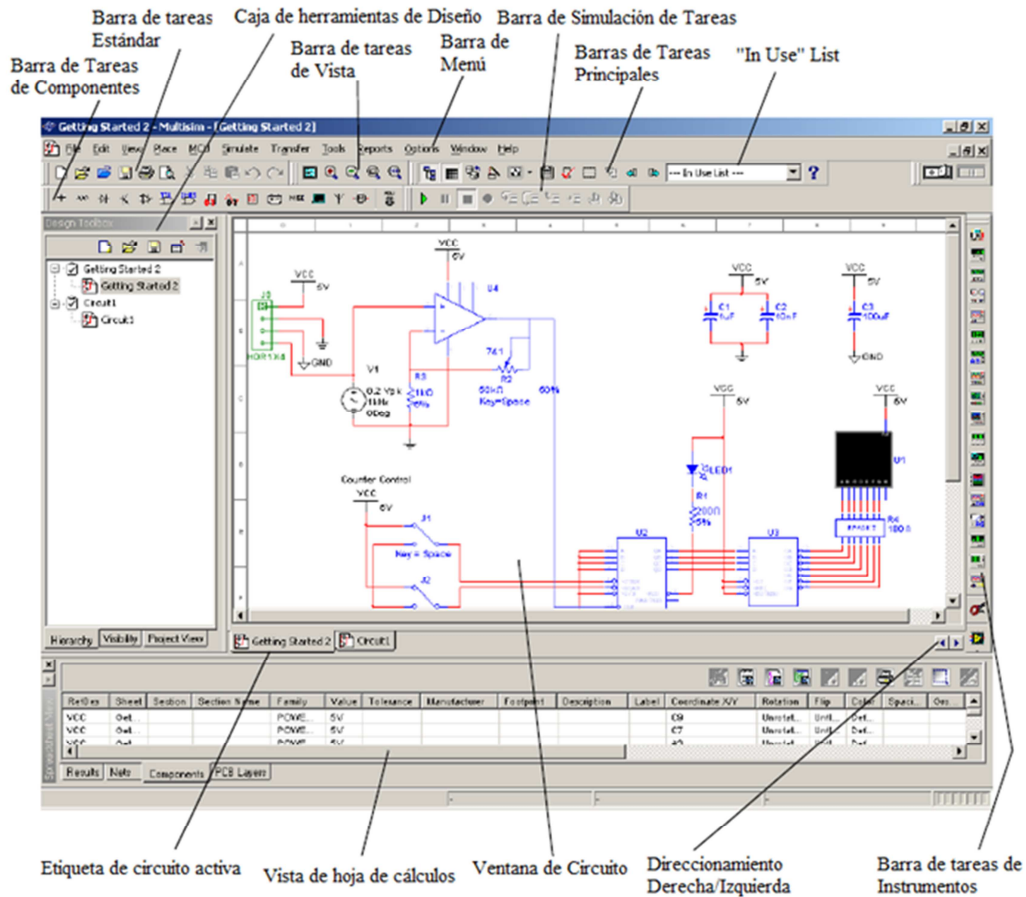
**Fuente: Página Web de NationalInstrument**

National Instruments provee a los ingenieros, educadores y estudiantes con tecnología potente e innovadora de diseño de circuitos. Los educadores y estudiantes aprovechan las herramientas fáciles de usar para la enseñanza para superar los obstáculos tradicionales en la enseñanza de ingeniería. Los ingenieros profesionales pueden mejorar la productividad con herramientas de captura intuitivas, simulación interactiva.

### **3.3.1 Herramientas de Multisim**

### **3.3.2 Introducción a la Interfaz de Multisim**

Multisim es el esquema de captura y simulación de la aplicación de Circuito de *National Instruments Circuit Design Suite*, un conjunto de EDA (Automatización de Diseño de Electrónica) las herramientas que le ayuda a llevar a cabo los principales pasos en el circuito de diseño. Multisim está diseñado para la construcción de esquemas, la simulación, y alimentación paso a paso de los circuitos, como la disposición el diseño de PCB (*Printed Circuit Boards*) ( ver fig. 47 ).



**Fig. 47 Menú de Comandos**

**Fuente: Página Web de NationalInstrument**

La barra de herramientas Estándar contiene botones para las funciones realizadas en común.

Simulación de la barra de herramientas contiene botones para iniciar, parar y otras funciones de simulación.

La barra de herramientas contiene los botones de los instrumentos para cada uno de los instrumentos.

Componente de la barra de herramientas contiene botones que permiten seleccionar los componentes de la base de datos de Multisim para la colocación en su esquema.

El Circuito de ventanas (La Ventana de Circuito) (o área de trabajo) es el lugar donde se construye su circuito de diseño.

La Caja de Herramientas de diseño le permite navegar a través de los diferentes tipos de archivos en un proyecto (esquemas, PCB, informes), una vista esquemática de la jerarquía y mostrar u ocultar las diferentes capas.

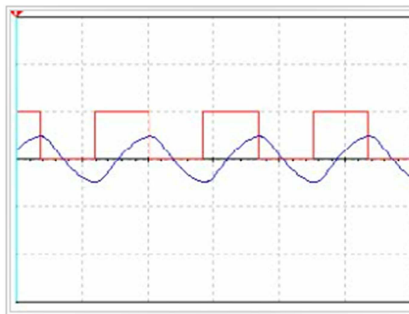
Ver hoja de cálculo permite la rápida visualización y edición avanzada de los parámetros incluidos componente de detalles tales como huellas, las características y limitaciones de diseño. Los usuarios pueden modificar los parámetros para algunos o todos los componentes en un solo paso y realizar una serie de funciones.

### 3.3.3. Captura y simulación de Multisim Demostración gráfica

El entorno de NI Multisim ofrece una suite de Análisis, diseño de gran alcance, y las herramientas de validación para obtener una mayor comprensión del comportamiento del circuito. Al combinar intuitiva parte de la colocación de los elementos, el cableado modal y una interfaz fácil de utilizar para la simulación, con una integración perfecta.

Para poner a prueba, se requiere menos tiempo y de manera eficiente para la transición de un diseño de prototipo.

En esta demostración gráfica, vamos a explorar la manera de comenzar a trabajar rápidamente con NI Multisim con los fundamentos de la captura y simulación ( ver fig. 48 ).

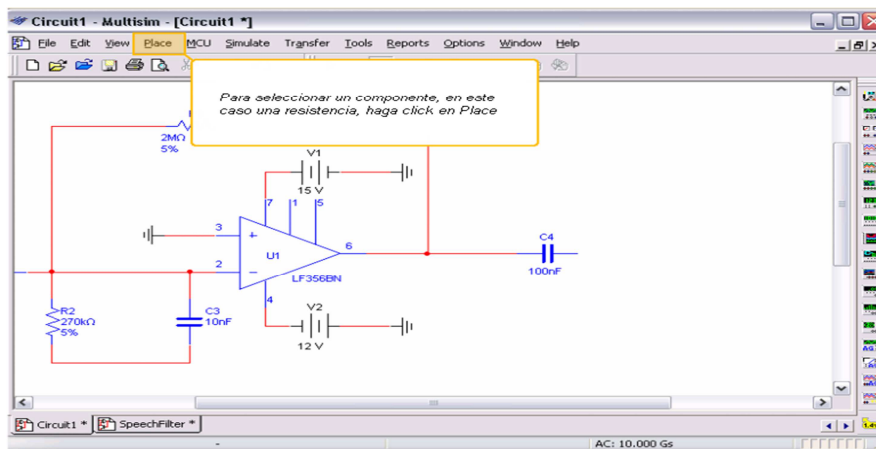


**Fig. 48 Demostración Gráfica de Ondas**

**Fuente: *Página Web de National Instrument***

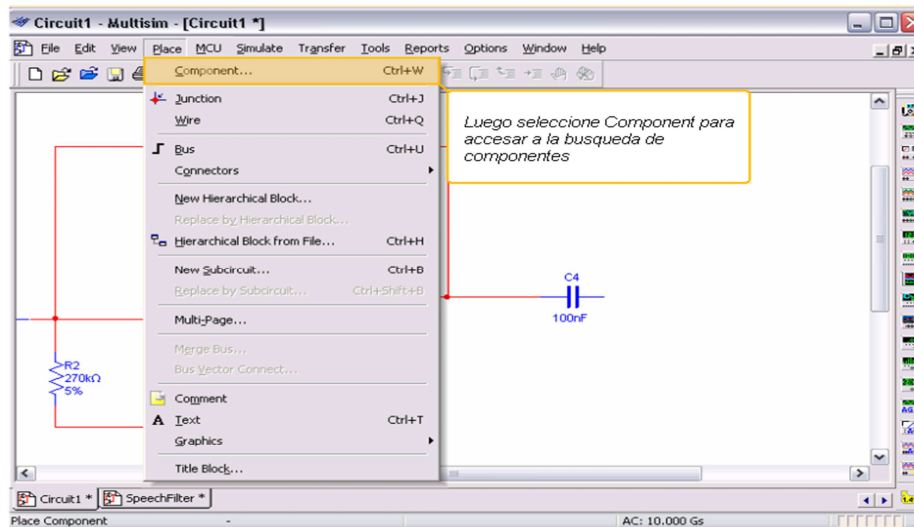
Ni Multisim le proporciona un entorno de captura intuitiva, perfectamente integrado con la simulación, los componentes de los circuitos se pueden seleccionar fácilmente a partir de usar un fácil navegador de componentes, y conectados entre sí dentro de un entorno de cableado modal.

En esta demostración grafica, veremos cómo colocar un componente y alambrarlo en un circuito ( ver fig. 49 ).



**Fig. 49** Para seleccionar diferentes componentes

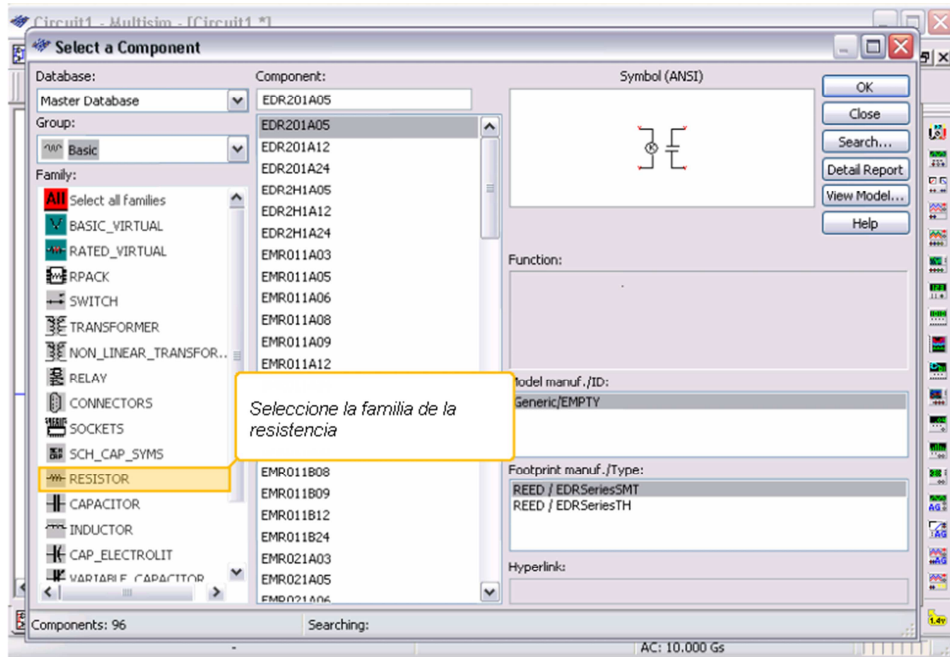
**Fuente:** Página Web de National Instrument



**Fig. 50** Forma gráfica de selección de componentes

**Fuente:** Página Web de National Instrument

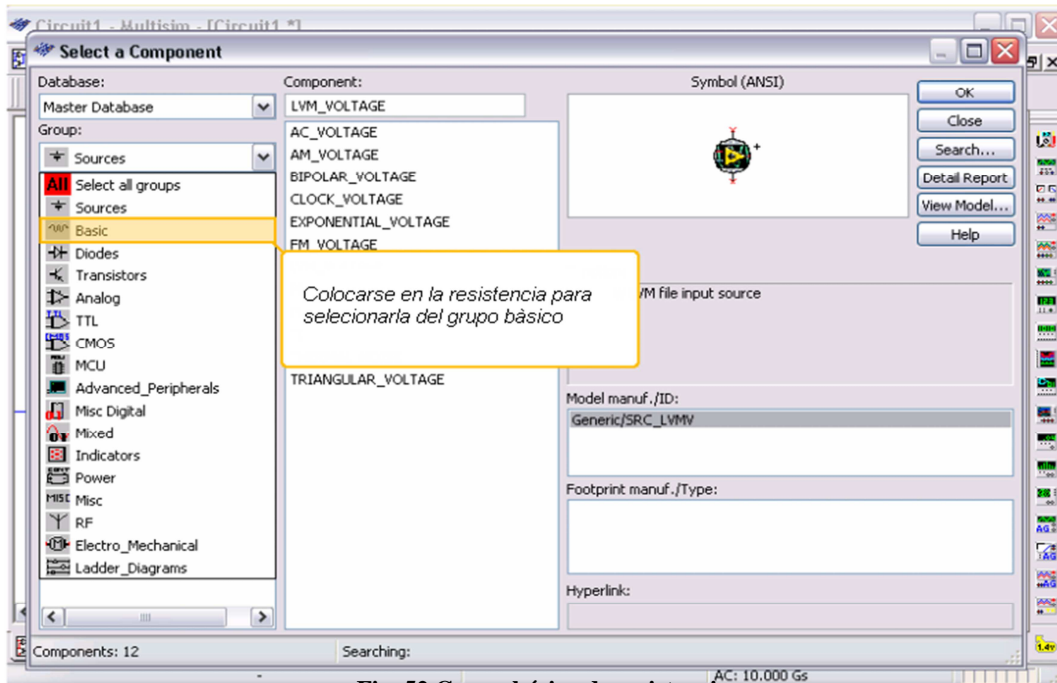




**Fig. 51 Selección de Resistencia**

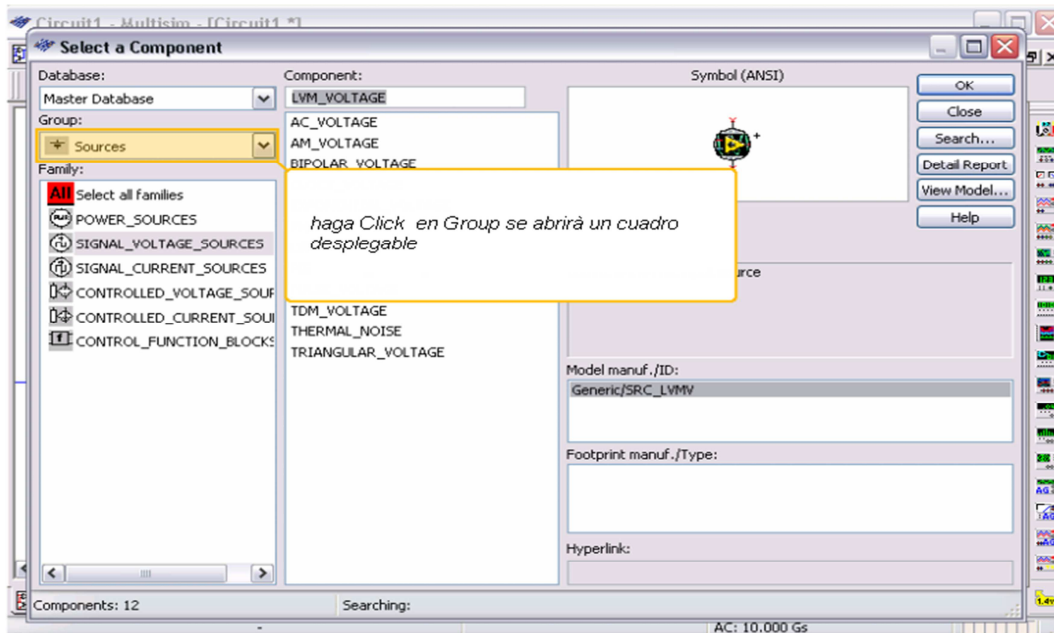
**Fuente: Página Web de National Instrument**

Los componentes están lógicamente divididos en la base de datos del programa en grupos y familia ( ver fig. 52 ).



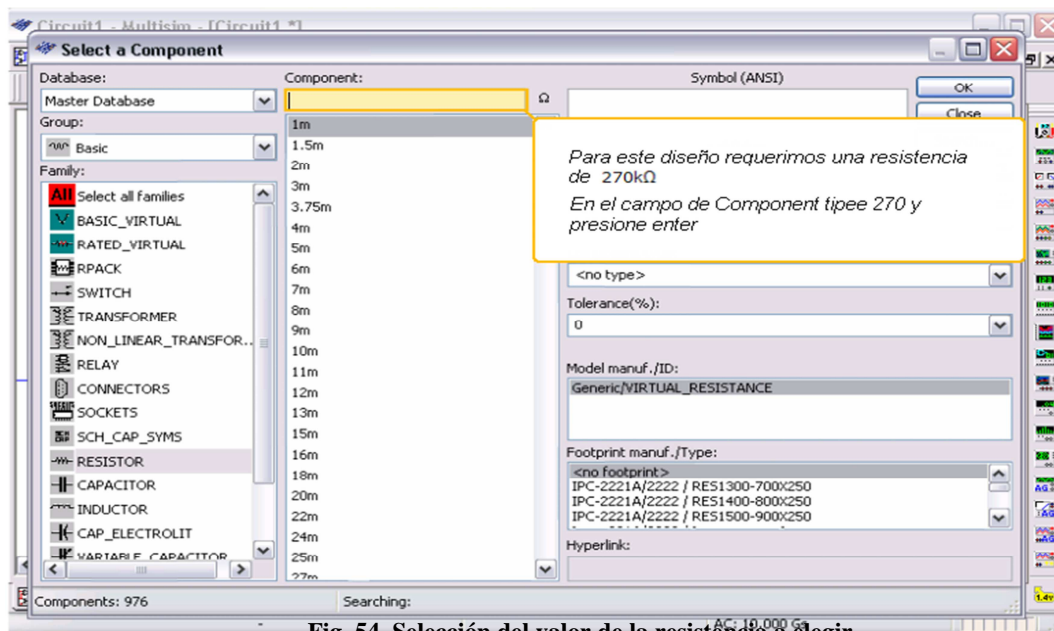
**Fig. 52 Grupo básico de resistencia**

**Fuente: Página Web de National Instrument**



**Fig. 53** Seleccionar grupo y se despliega un cuadro

**Fuente:** Página Web de National Instrument



**Fig. 54** Selección del valor de la resistencia a elegir

**Fuente:** Página Web de National Instrument

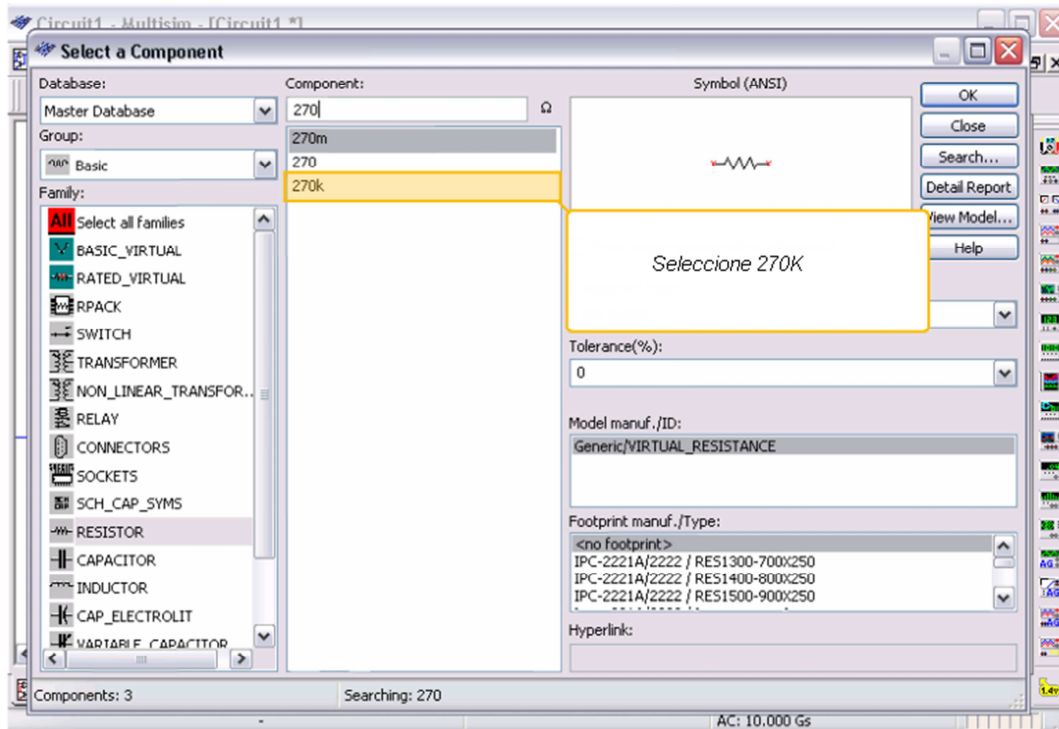


Fig. 55 Se elige el valor exacto necesario

Fuente: Página Web de National Instrument

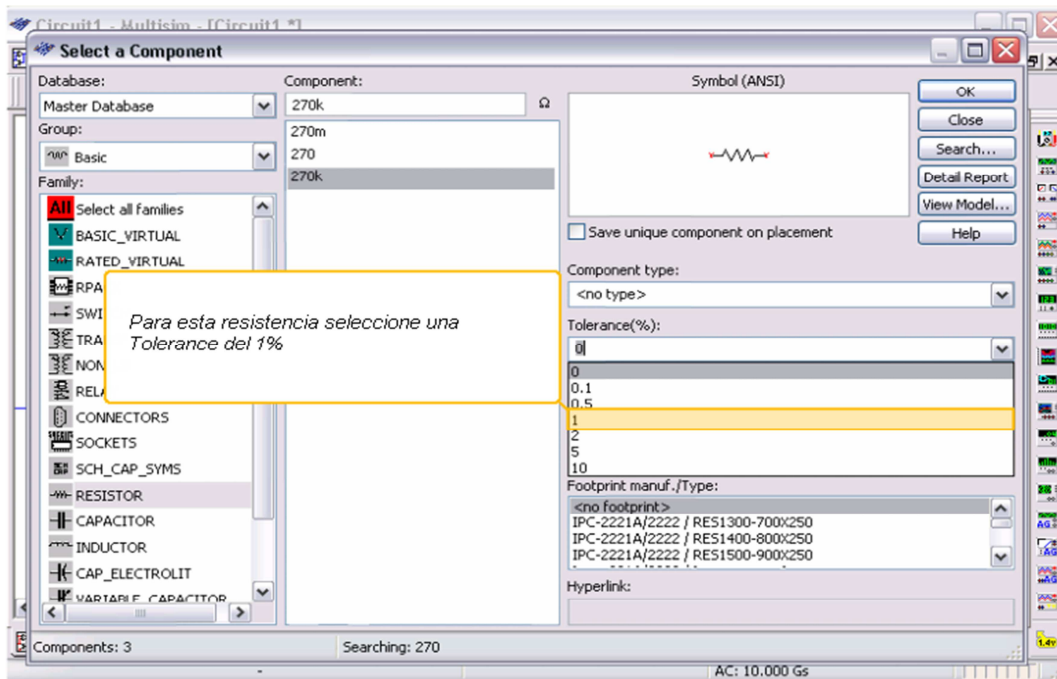
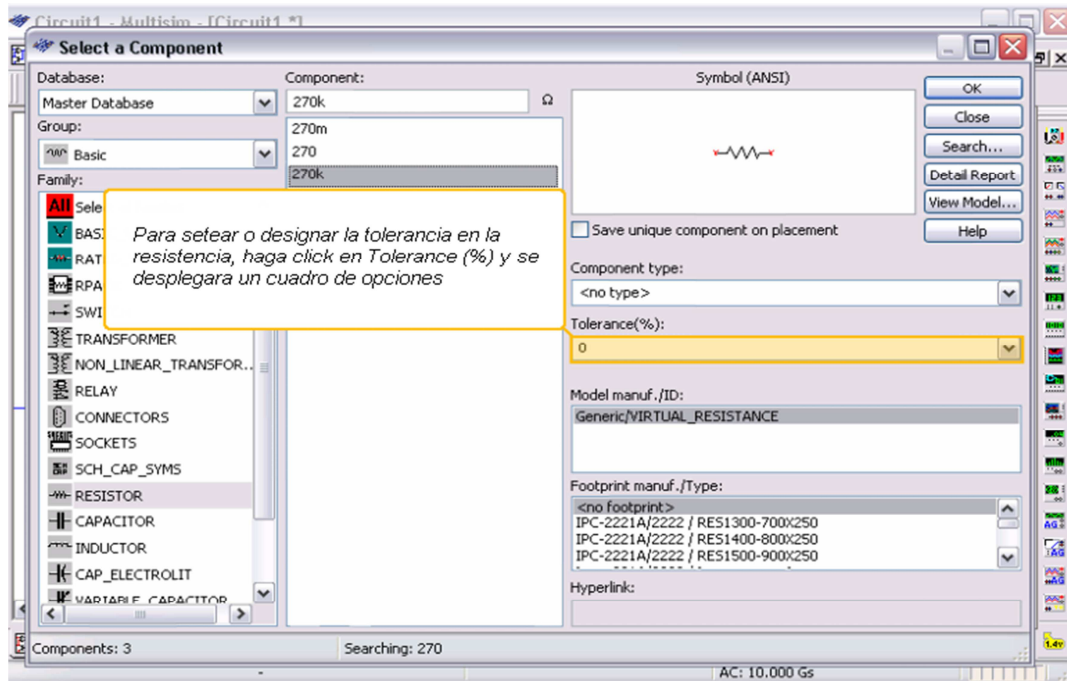


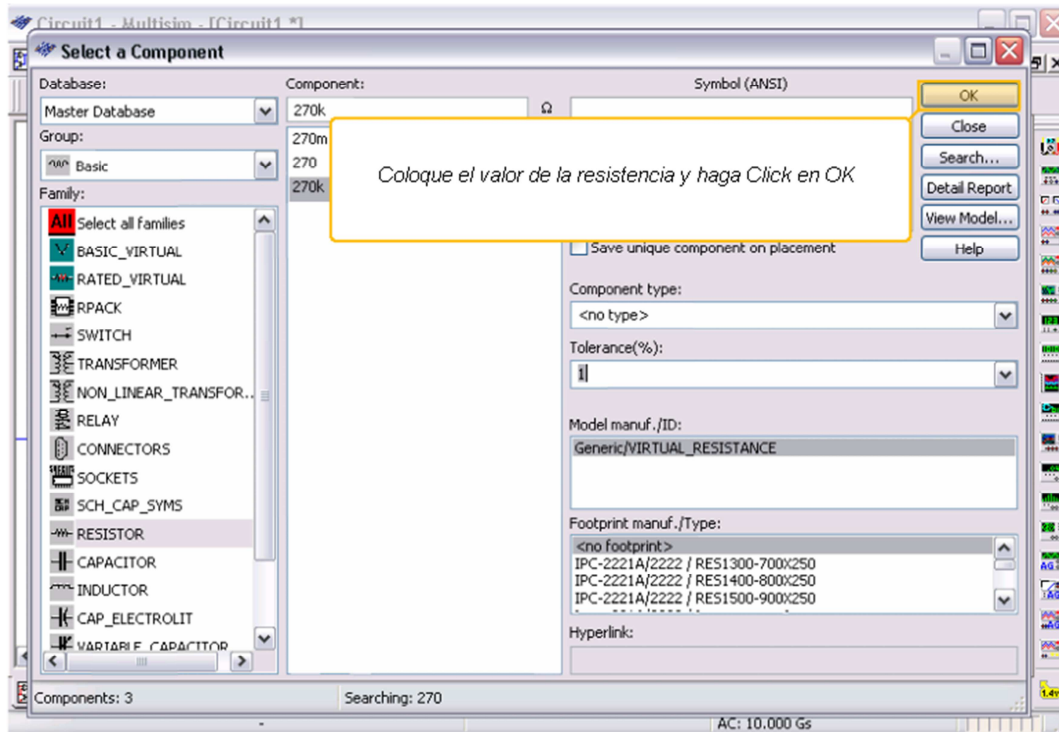
Fig. 56 Selección de la tolerancia de la resistencia

Fuente: Página Web de National Instrument



**Fig. 57** Se despliega un grupo de opciones a elegir

Fuente: Página Web de National Instrument



**Fig. 58** Se coloca el valor de la Resistencia

Fuente: Página Web de National Instrument

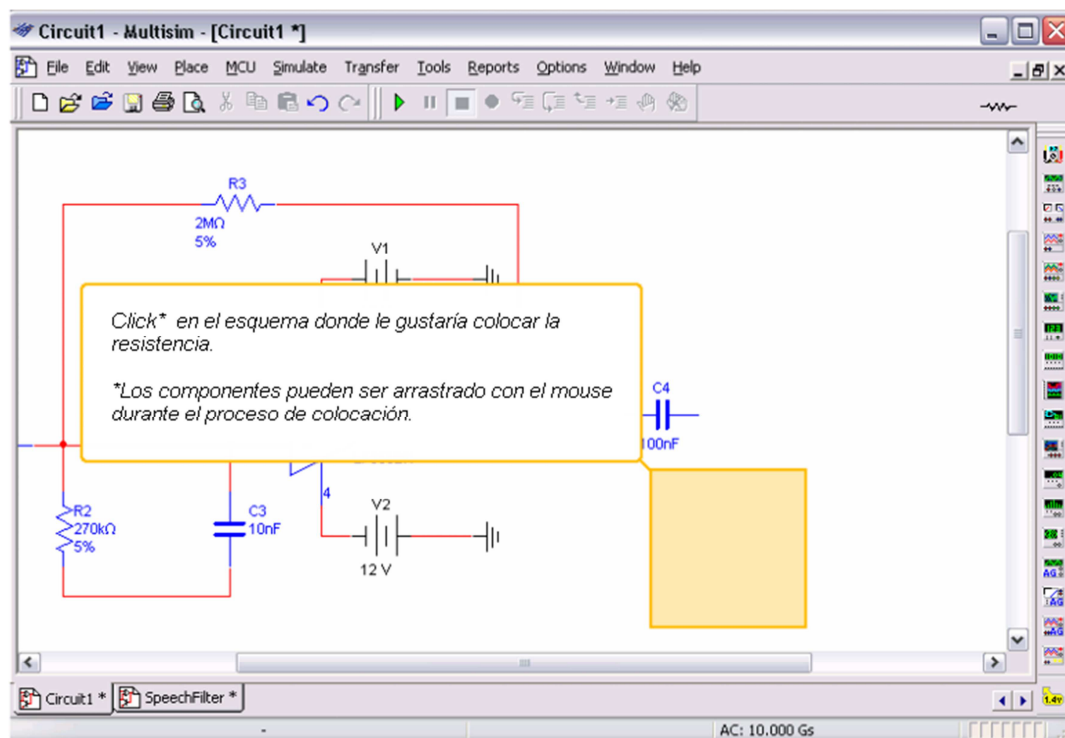


Fig. 59 Proceso de colocación

Fuente: Página Web de National Instrument

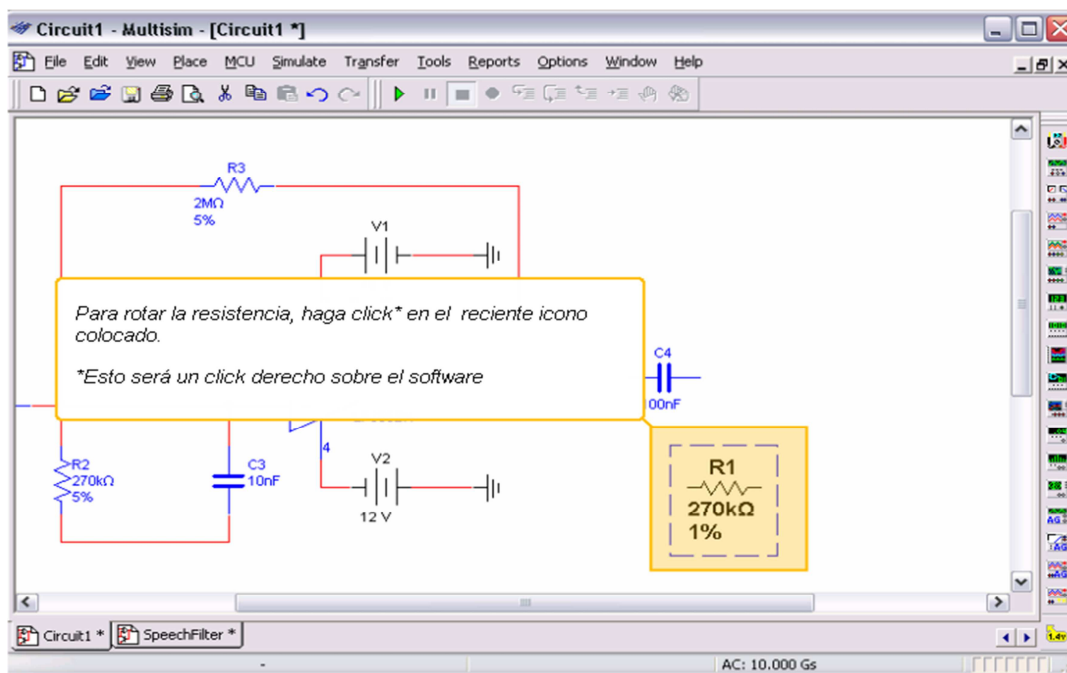


Fig. 60 Rotación de dispositivos

Fuente: Página Web de National Instrument

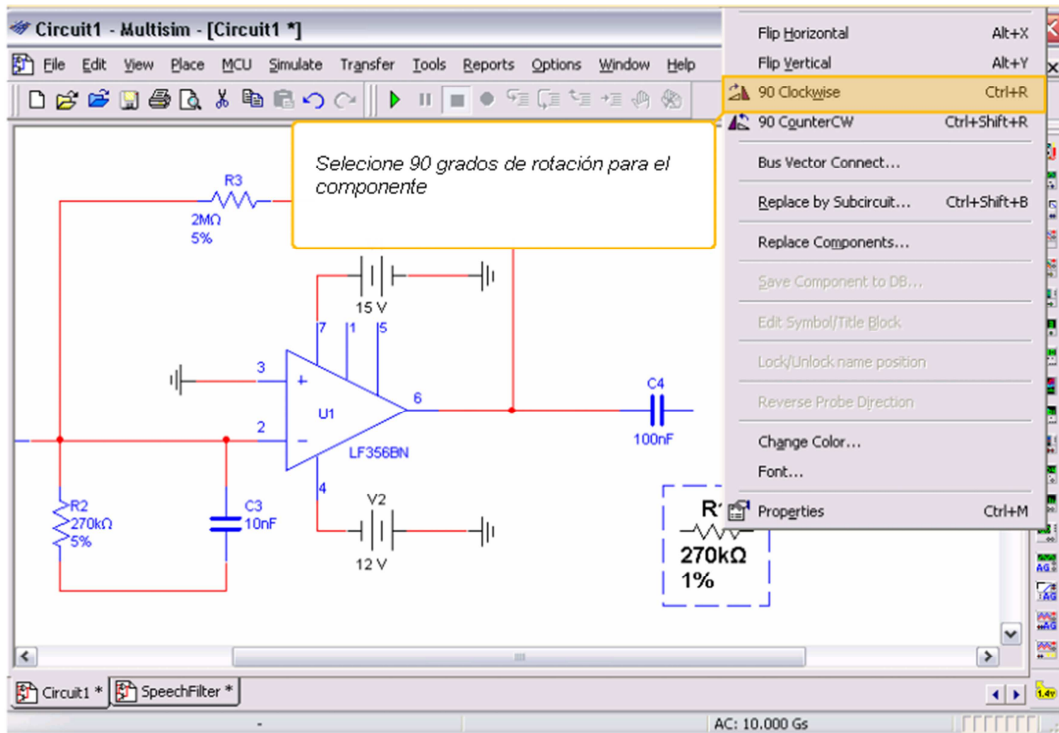


Fig. 61 Selección a 90 grados de dispositivos

Fuente: Página Web de National Instrument

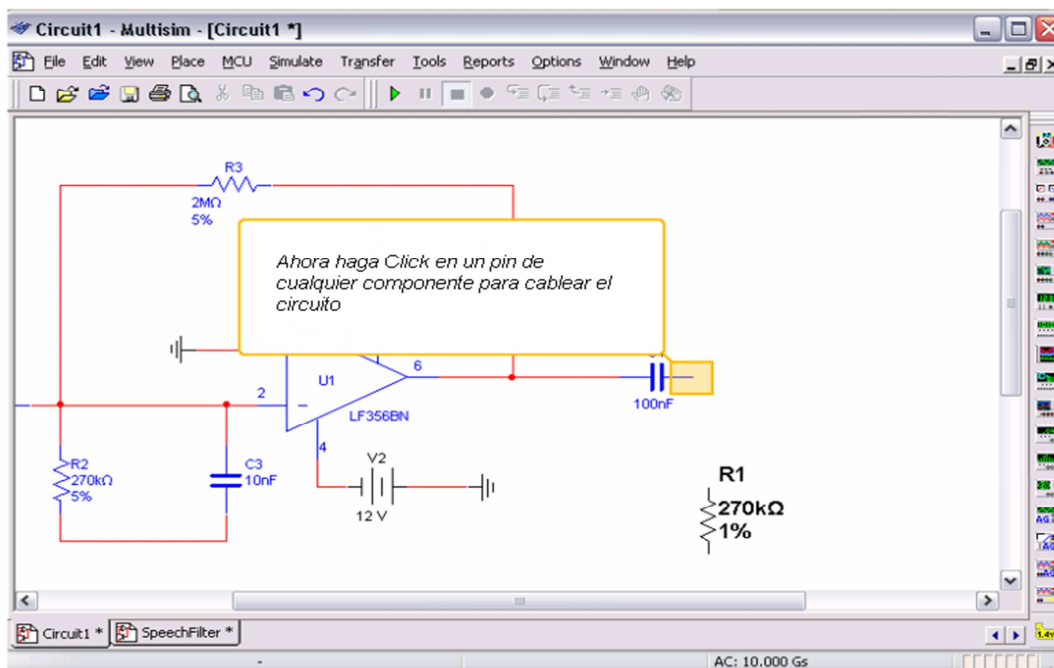
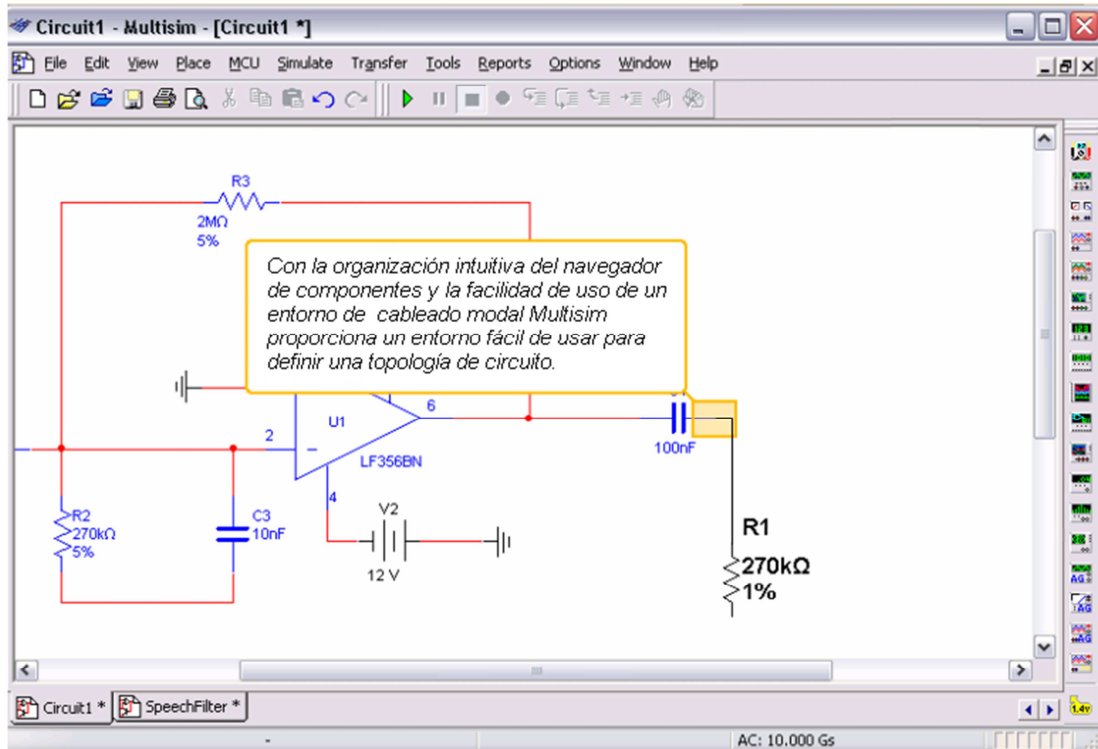


Fig. 62 Cableado del circuito

Fuente: Página Web de National Instrument



**Fig. 63** Definición de topología de circuito

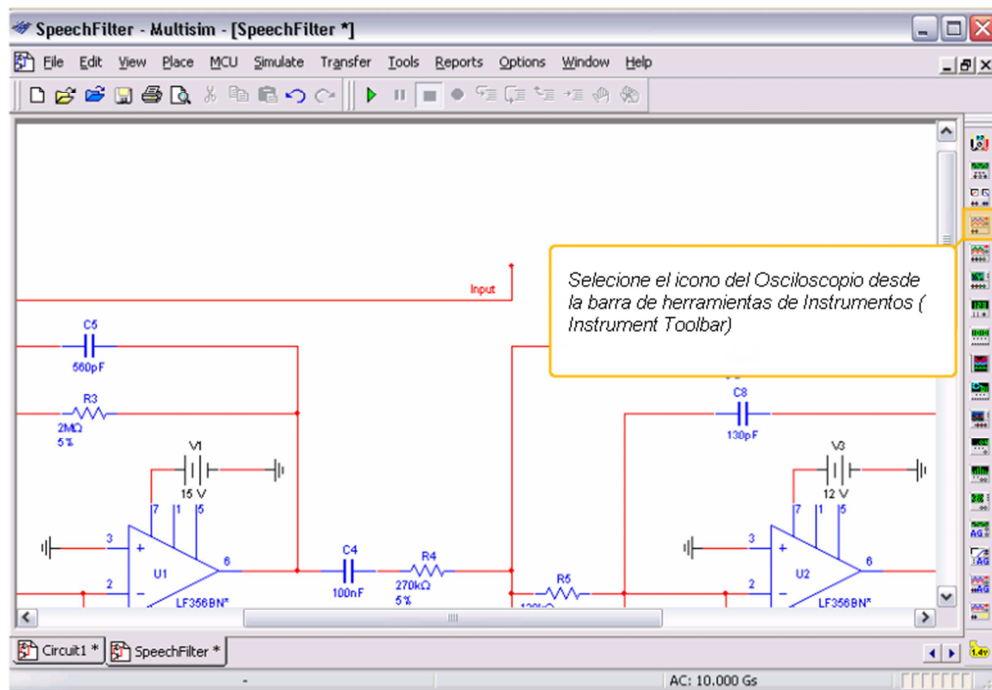
**Fuente:** Página Web de National Instrument



### 3.3.4 Simulación Interactiva

Multisim provee de una característica única de instrumentos de simulación en tiempo real, instrumentos que fácilmente simulan, visualizan e interactúan el comportamiento de los circuitos diseñados, permitiendo que se verifique el rendimiento del circuito ( ver fig. 64 ).

Multisim provee de diferentes números de instrumentos de medición que visualizan y simulan el rendimiento del circuito. Es compatible y puede ser ampliado su uso con Labview Instruments.



**Fig. 64 Selección de un Instrumento de Medición**

**Fuente: Página Web de National Instrument**



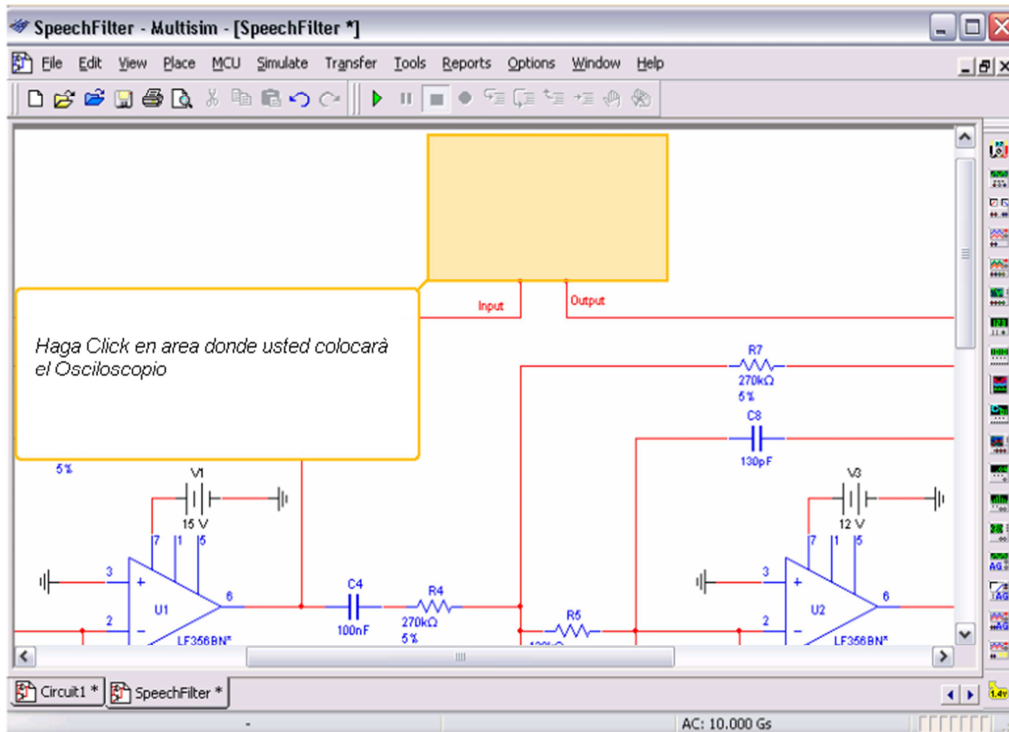


Fig. 65 Ubicación del Osciloscopio

Fuente: Página Web de National Instrument

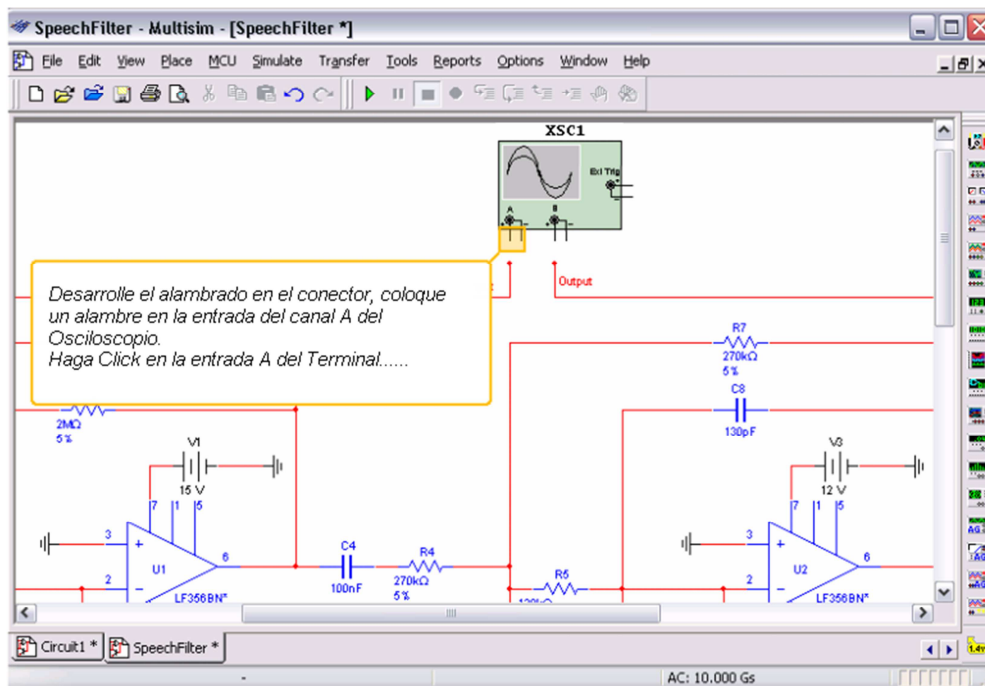
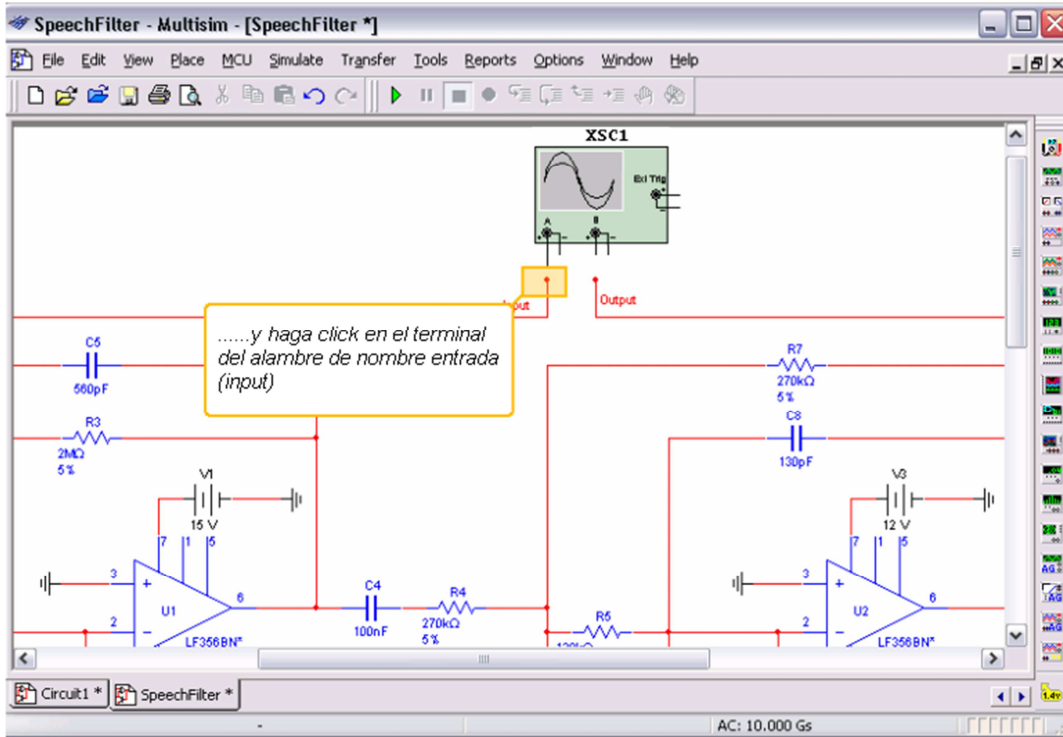


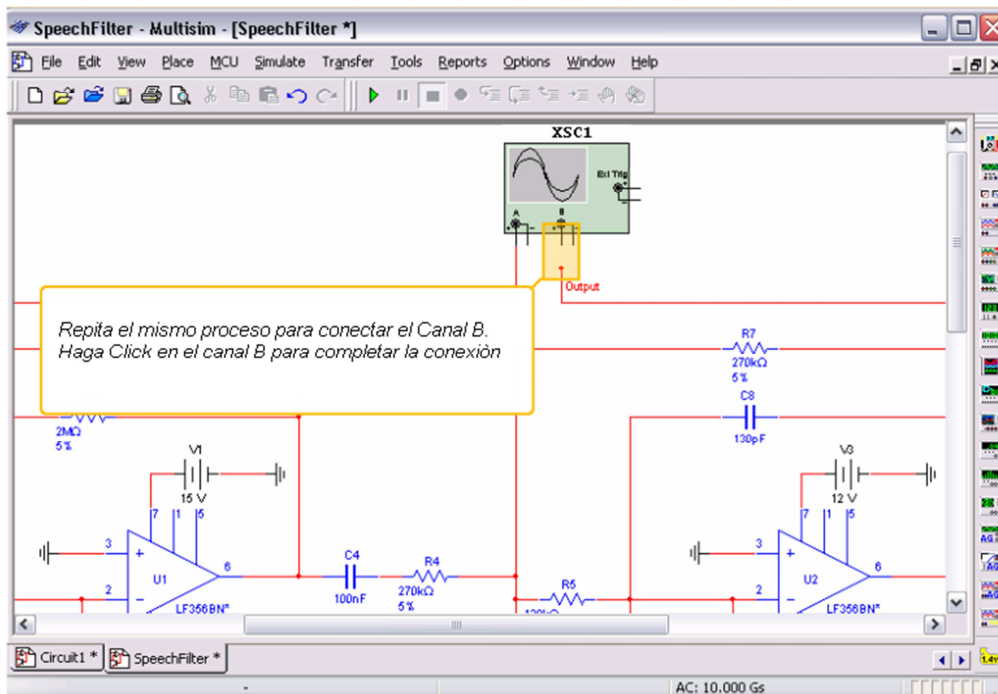
Fig. 66 Conexión del Osciloscopio

Fuente: Página Web de National Instrument



**Fig. 67** Conexión del alambre del Osciloscopio

Fuente: Página Web de National Instrument



**Fig. 68** Conexión del canal B del Osciloscopio

Fuente: Página Web de National Instrument

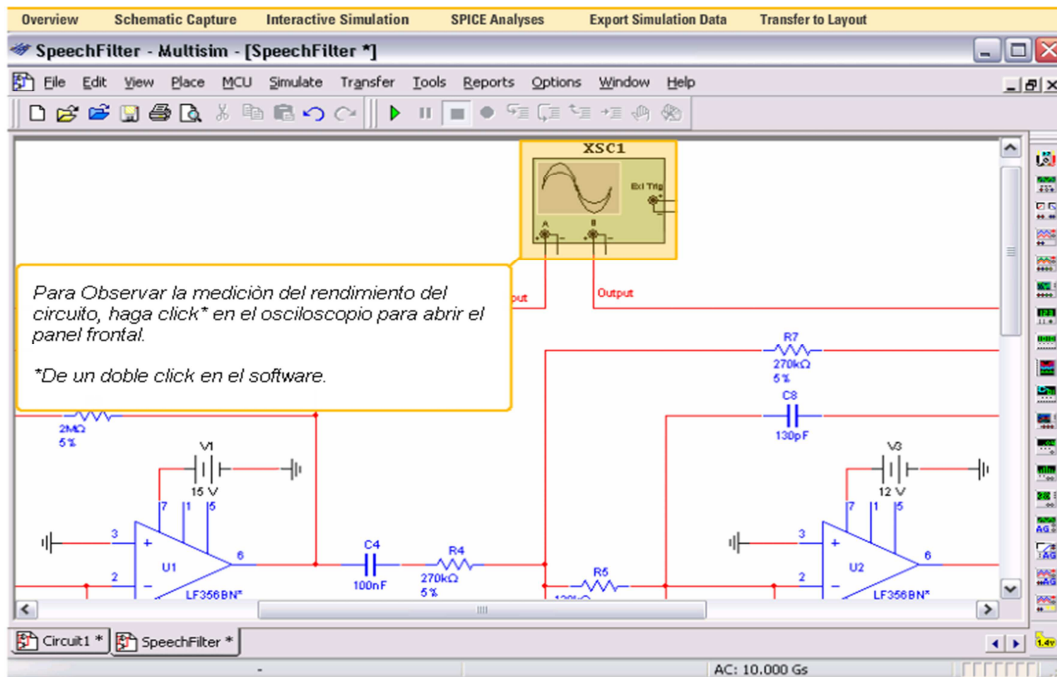


Fig. 69 Observación de la medición del Osciloscopio

Fuente: Página Web de National Instrument

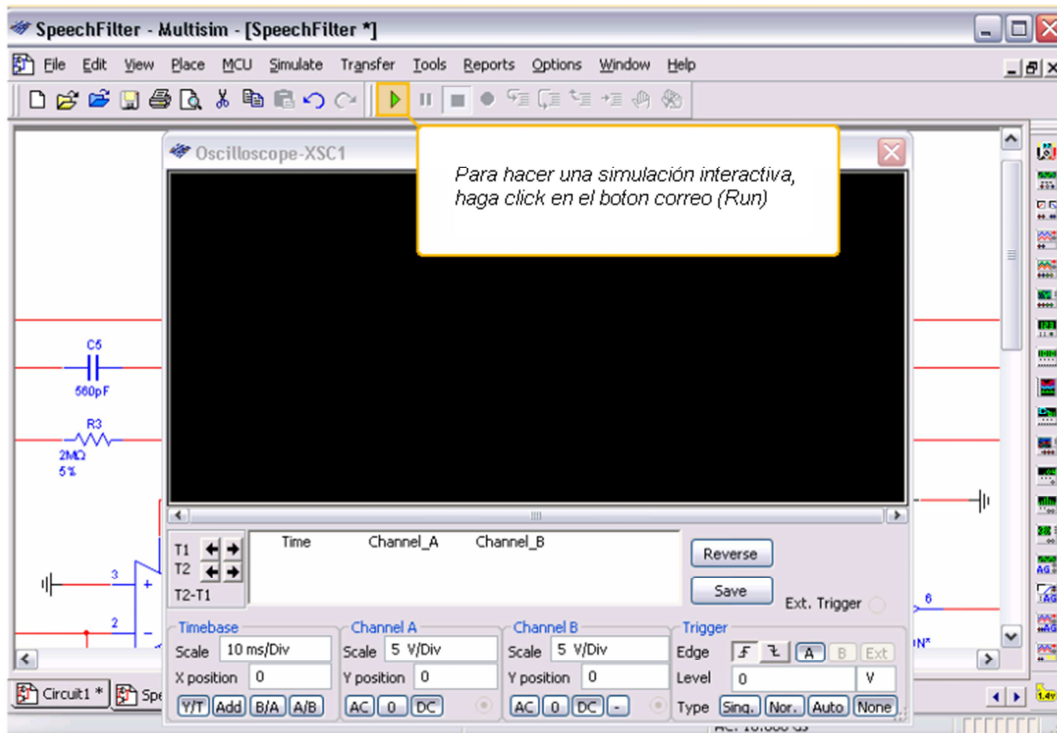
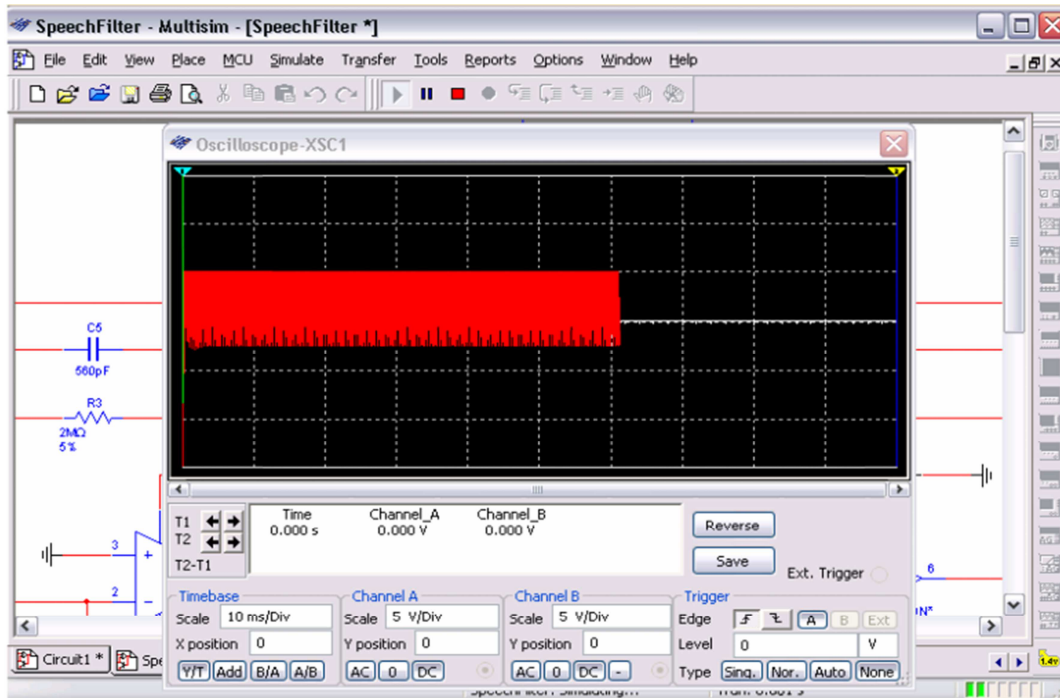


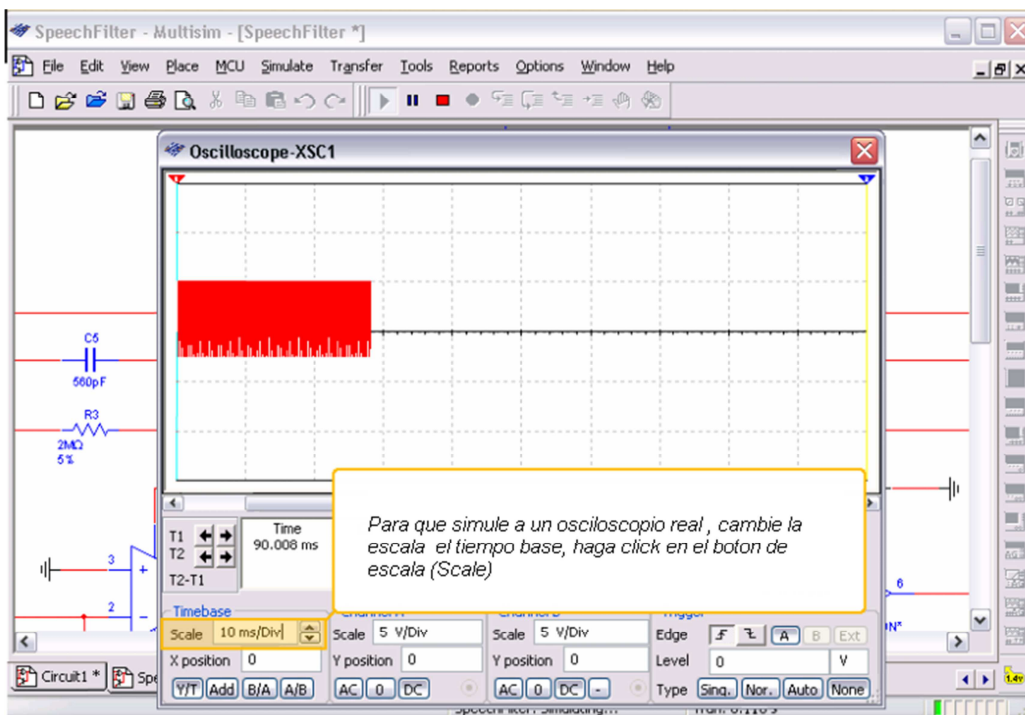
Fig. 70 Se presiona Run para la Simulación Interactiva

Fuente: Página Web de National Instrument



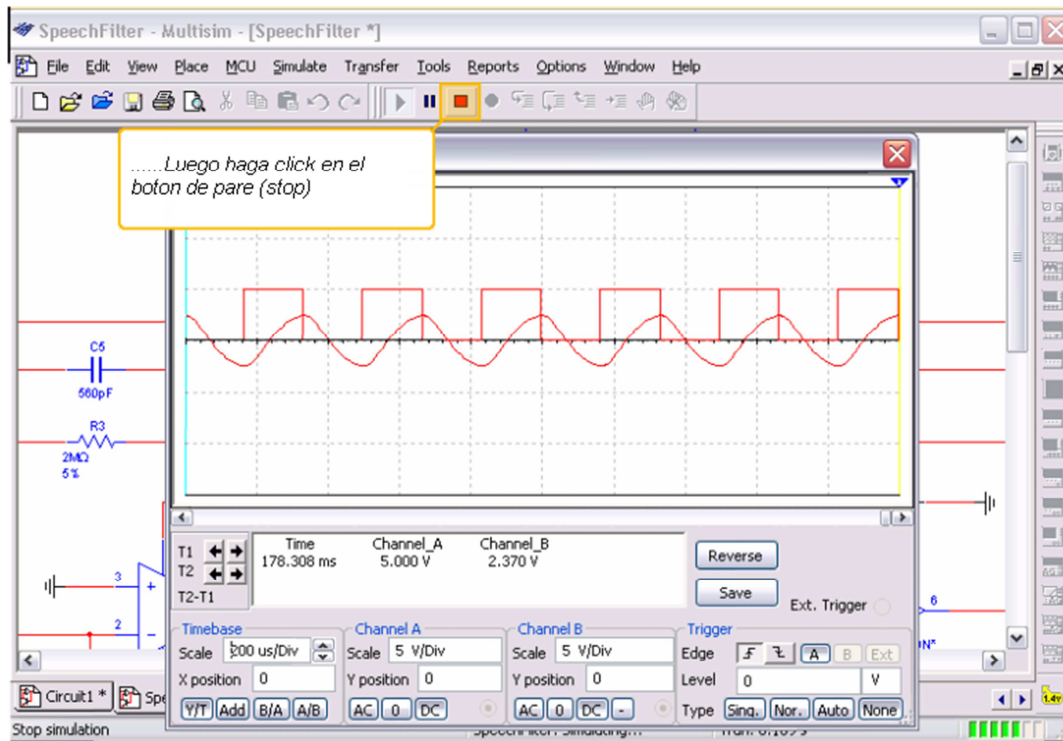
**Fig. 71** Forma Gráfica de las Ondas de salida del Circuito

Fuente: Página Web de National Instrument



**Fig. 72** Variación de la base de Tiempo en el Osciloscopio

Fuente: Página Web de National Instrument



**Fig. 73 Formas de Onda de entrada y salida**

**Fuente: Página Web de National Instrument**

Multisim provee de un paso único para la simulación, para el diseño y validación de los circuitos con el uso de instrumentos de medición interactivos característicos, instrumentos de medición tales como: el osciloscopio, generador de funciones y analizadores lógicos, asegurando de que el estudiante es capaz de validar rápidamente el comportamiento del diseño, mejorar el rendimiento de los circuitos y reducir las interacciones de prototipos.

### **3.4.1 Prácticas recomendadas con la aplicación de Multisim**

En el presente trabajo de tesis se demuestra como facilitar la comprensión de la temática de la materia de Electrónica III, desde luego se debe a las prácticas que se realizarán paso a paso unificando los capítulos anteriores, y sirviendo de apoyo didáctico para los profesores que enseñen la asignatura. Se ha tomado como referencia las siguientes prácticas:

- **Práctica # 1:** Funcionamiento de un SCR.
- **Práctica # 2:** Características del DIAC.
- **Práctica # 3:** Funcionamiento de un DIAC con un SCR.
- **Práctica # 4:** Funcionamiento de un Interruptor Controlado de Voltaje.
- **Práctica # 5:** Oscilador de Relajación.
- **Práctica # 6:** Control de Cambio de Fase.

Las prácticas dadas permiten afianzar la teoría de los temas más importantes impartidos en esta materia, valiéndose para su resolución con todo lo expuesto anteriormente.

### 3.4.2: Práctica #1: Funcionamiento de un SCR.

En ésta práctica se busca comprobar el funcionamiento de un SCR. Este circuito va a estar compuesto por los siguientes elementos:

- Un SCR 2N1595.
- Una resistencia de 25 K $\Omega$ .
- Un Foco de 120 V 250 W.
- Una fuente de tensión alterna de 120V.
- Un Osciloscopio.

Para la entrada se aplica una fuente de Voltaje de 120 V, cuya señal es senoidal cuya frecuencia será de 60 Hz.

La figura 74, representa el diagrama esquemático para la práctica:

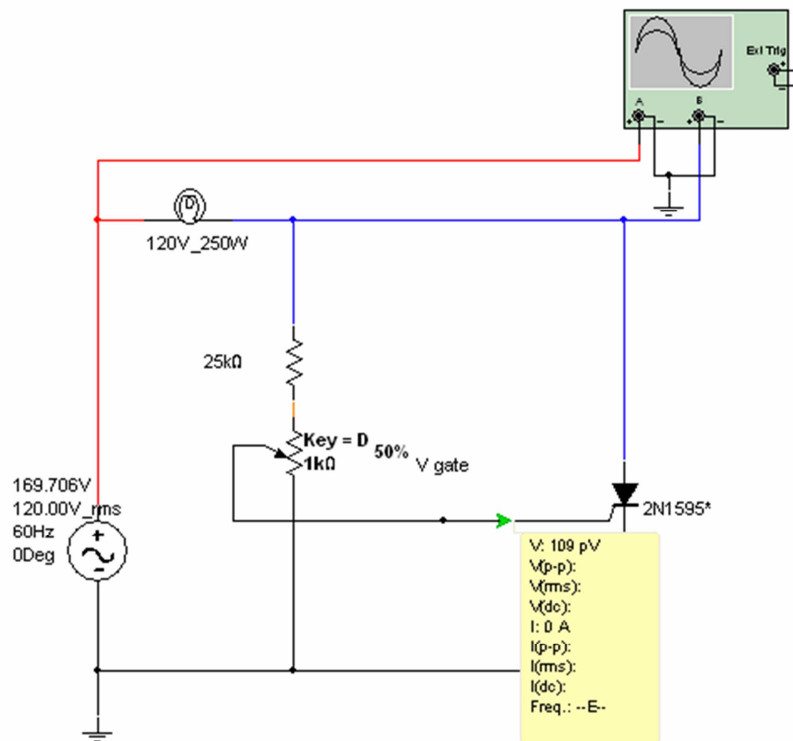


Fig.74 Diagrama esquemático del funcionamiento de un SCR.

Fuente: *Página Web de National Instrument*

Para desarrollar este circuito en MULTISIM se debe:

- Abrir mediante el ICONO del programa MULTISIM, el cual permitirá realizar el esquemático del circuito.
- Hacer clic en el menú *File* la opción *New-Schematic Capture*, al aceptar aparecerá una ventana para comenzar desde cero.
- Automáticamente después de aceptar, aparecerán varios iconos y elegimos el de Tierra y seleccionamos la fuente alterna para nuestro caso e ir armando el circuito( esta es una forma ).
- Al dar clic en el menú *Place-Component*, o Ctrl+W en el teclado de la computadora, aparecerá una ventana en la que se puede escoger los diferentes dispositivos, teniendo en cuenta la librería en la que se encuentran. De esta manera se procede a seleccionar cada uno de los elementos del circuito, y se los ubica en la hoja de trabajo de acuerdo al diagrama, al finalizar de colocar cualquier elemento, se debe de dar clic derecho con el ratón y escoger con la tecla ESC del teclado, para seleccionar otro elemento en CTRL+W.
- Para cablear el circuito se debe escoger la opción *Place-Wire*, o Ctrl+Q del teclado; de esta manera se dibujan las conexiones respectivas de cada dispositivo.
- Para cambiar las características de los elementos ya sea en valores o nombres, se debe dar doble clic sobre la característica a cambiar, como por ejemplo R a R1 o 1K por 10K.
- Es muy importante colocar las tierras adecuadamente en los diagramas porque sin éstas el circuito no se podrá simular, este paso se realiza con la opción CTRL+W, y se escoge (GROUND), lo que queda es ubicarlas respectivamente.

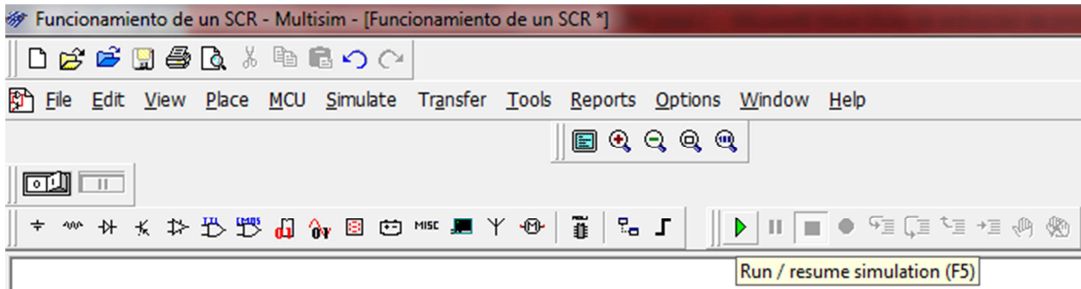
Para realizar la simulación de la práctica se debe de realizar los siguientes pasos:

- Terminado el esquemático del circuito se prepara la simulación, dando clic en el menú MULTISIM-*Simulation+run o F5*.
- Para grabar el circuito, se coloca el nombre de la simulación y listo..

Con el diagrama dado anteriormente (Figura 4.1) se puede demostrar en la simulación la operación de un SCR.

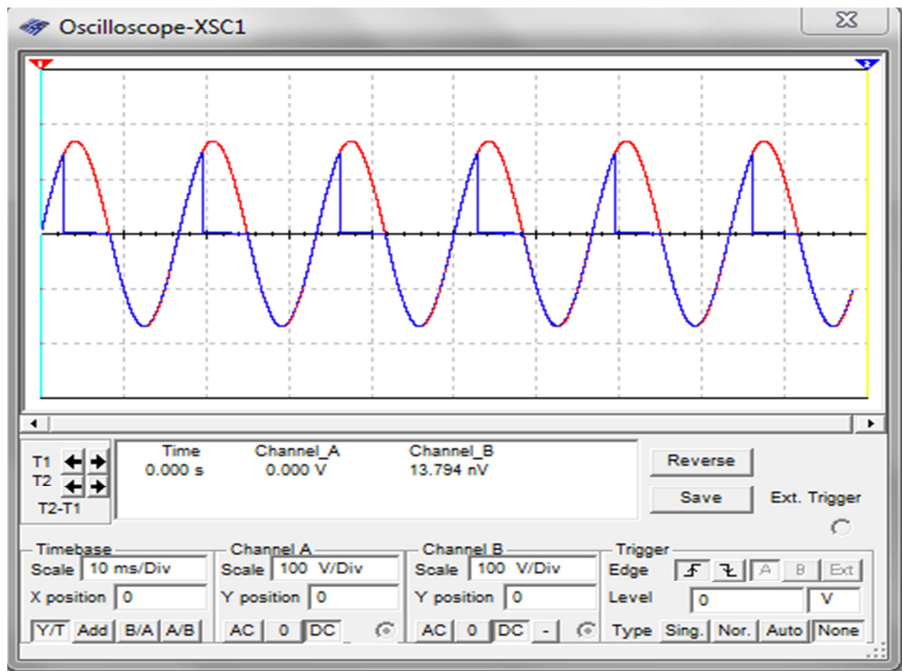


Para la simulación se escoge las siguientes características en dominio del tiempo a 10 milisegundos representadas en la figura 75, por medio de estos patrones se observa de mejor manera la sinusoide.



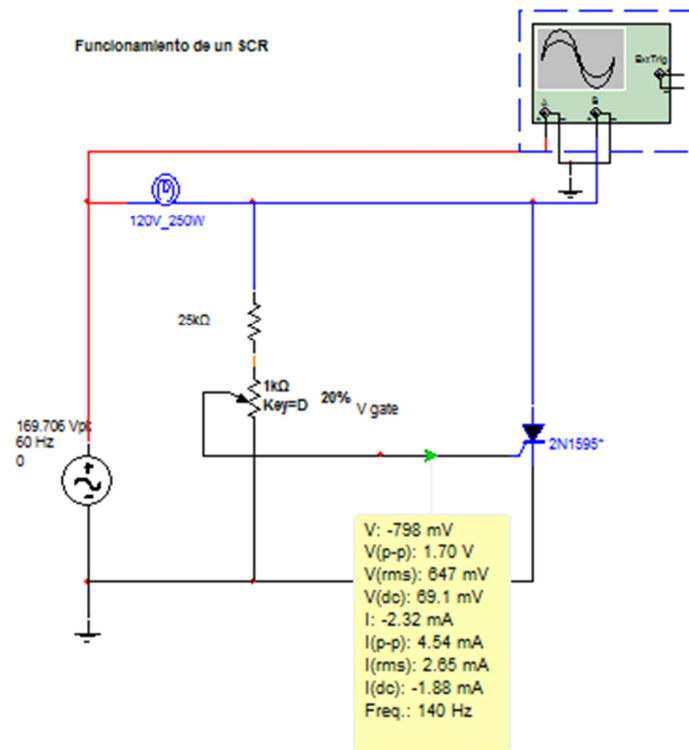
**Fig.75 Características para la simulación.**  
**Fuente: Página Web de National Instrument**

La figura 76, muestra la simulación en MULTISIM del funcionamiento de un SCR.



**Fig. 76 Simulación del funcionamiento de un SCR.**  
**Fuente: Página Web de National Instrument**

El diagrama esquemático del circuito del funcionamiento de un SCR, se aprecia en la figura 77.



**Fig. 77 Tensiones del circuito.**

**Fuente: Página Web de National Instrument**

Es aconsejable para no tener problemas con la práctica, descargar el *datasheet* del SCR 2N1595.

### 3.4.3 Práctica # 2: Características del DIAC.

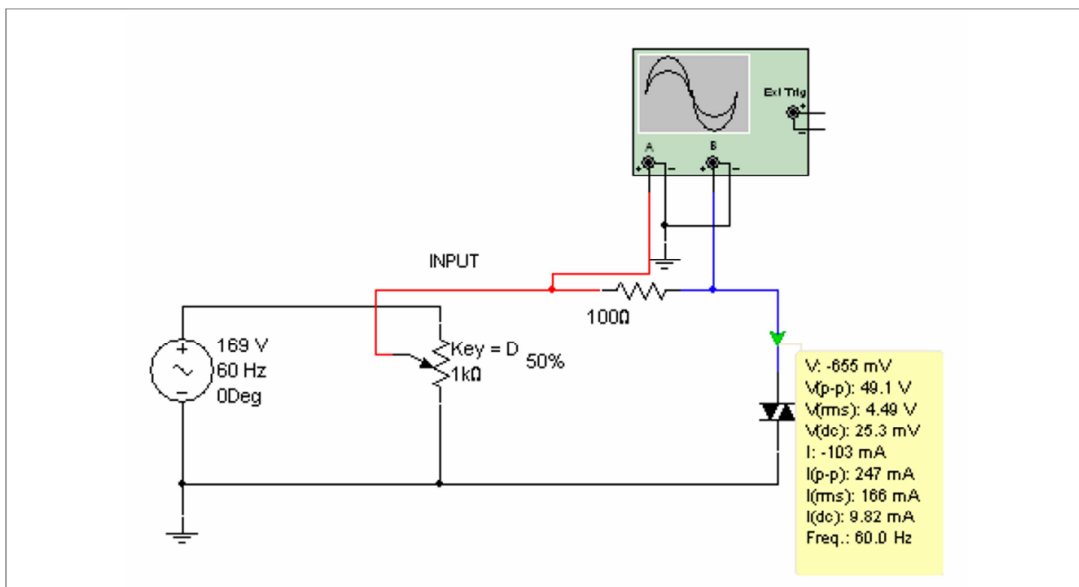
La siguiente práctica tiene el objetivo de explicar cómo es la característica del DIAC, por medio de un circuito muy sencillo simulado en MULTISIM.

Se necesitan los siguientes elementos:

- Un DIAC 1N5758
- Una resistencia de  $100\ \Omega$ .
- Una resistencia variable de  $1\text{K}\Omega$ .
- Una fuente de corriente alterna de  $120\text{V}$   $60\text{Hz}$ .
- Un Osciloscopio.

Las características del DIAC tiene una alimentación de  $120\text{V}$  y  $60\text{Hz}$  de Frecuencia.

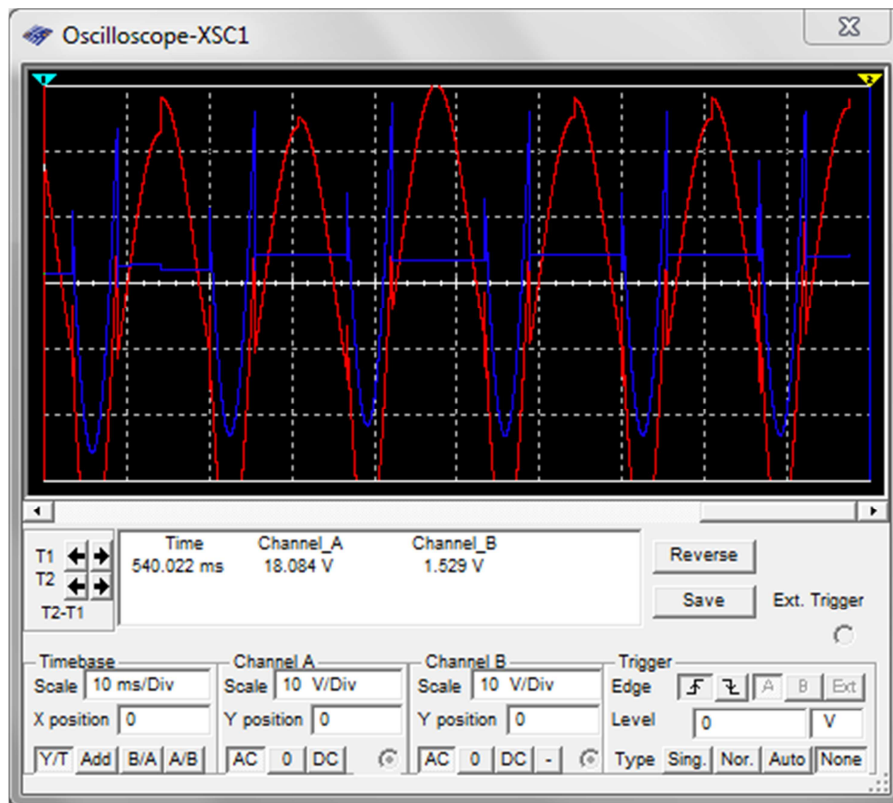
El diagrama de la característica del DIAC es el de la figura 78:



**Fig. 78 Diagrama de la característica del DIAC.**

*Fuente: Página Web de National Instrument*

Este circuito se desarrolla en MULTISIM con la ayuda de los pasos descritos en la práctica anterior. La simulación para MULTISIM se la realiza por medio del análisis transitorio y el tiempo queda a libre albedrío del usuario, en este caso el tiempo estará dado a 10 milisegundos. La gráfica de la simulación se muestra en la figura 78:



**Fig. 78 Simulación en MULTISIM de las características del DIAC.**

**Fuente: *Página Web de National Instrument***

Para el desarrollo de esta práctica se recomienda la utilización del *datasheet* del DIAC 1N5758.

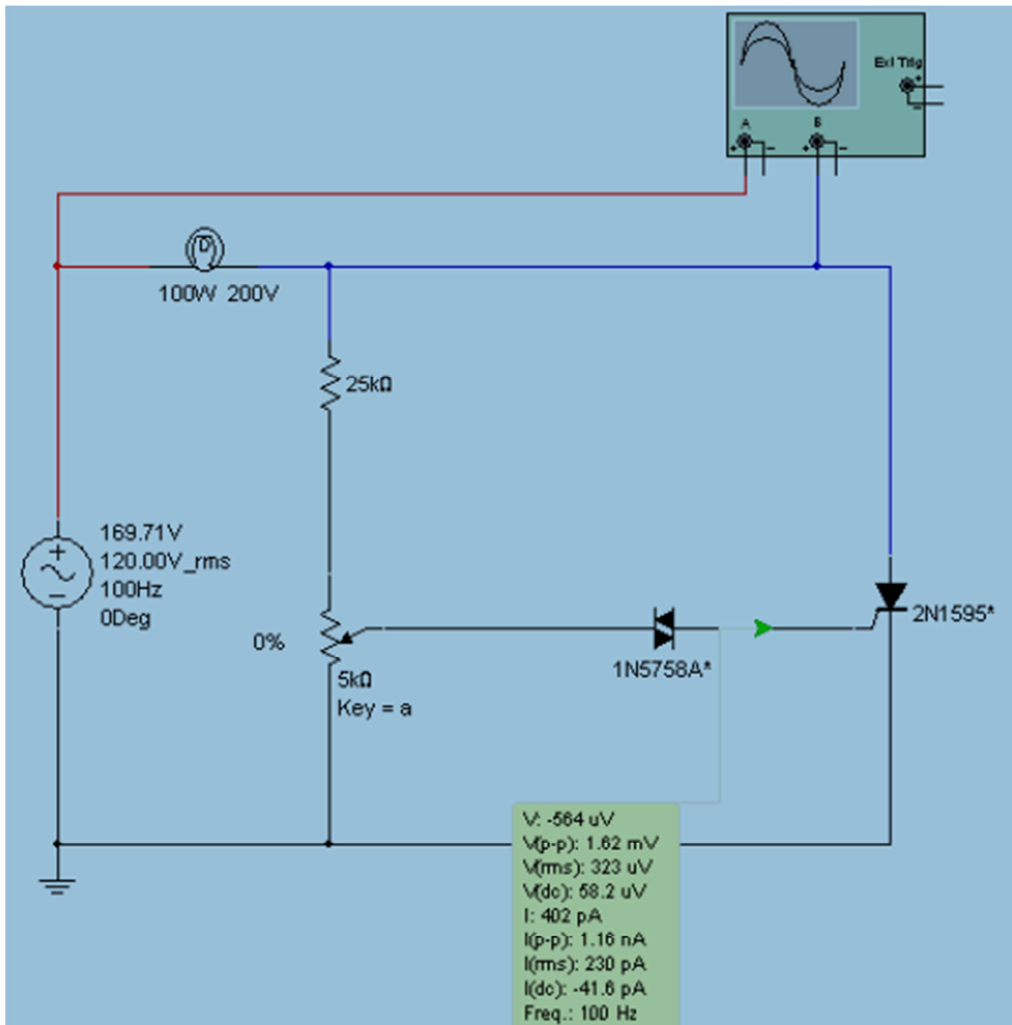
### **3.4.4 Práctica # 3: Funcionamiento de un DIAC con un SCR.**

En esta práctica se utilizará un DIAC combinado con un SCR, por medio de un circuito simulado en MULTISIM.

Los siguientes componentes serán utilizados en la práctica:

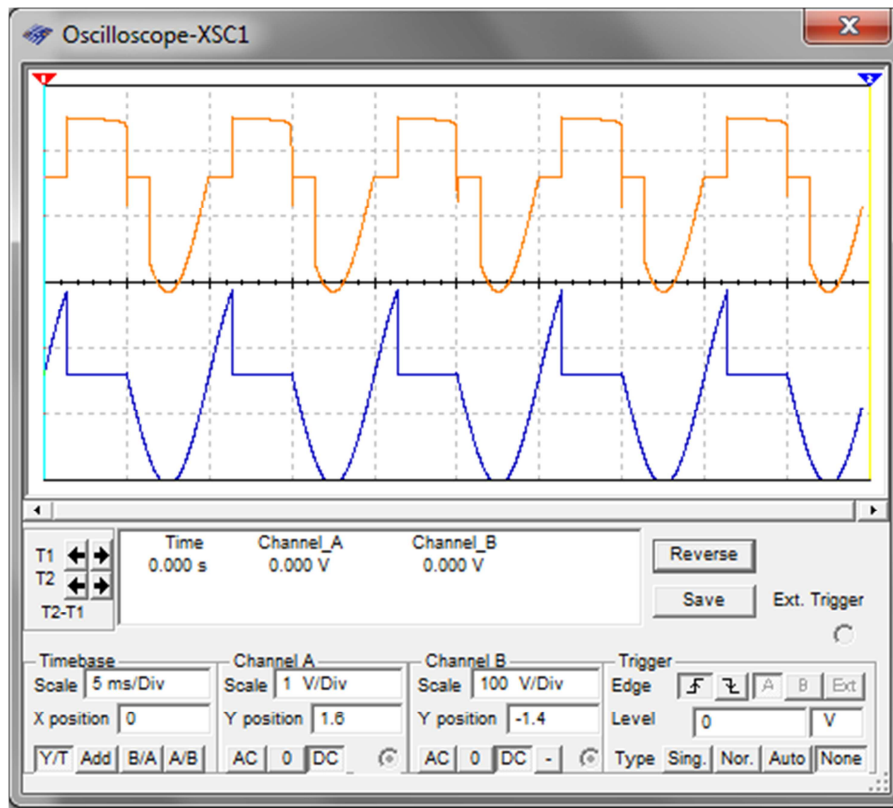
- Un DIAC 1N5758A.
- Un SCR 2N1595.
- Una resistencia de 25 K $\Omega$ .
- Una Resistencia Variable de 5 K $\Omega$ .
- Una fuente de tensión alterna de 120Voltios.

A continuación el esquema realizado en Multisim del Funcionamiento de un DIAC y un SCR, representado en la figura 79:



**Fig. 79 Diagrama esquemático en Multisim del funcionamiento de un DIAC y un SCR.**  
*Fuente: Página Web de National Instrument*

En este circuito se ha marcado la entrada con color rojo por medio de un foco y la salida de color azul, al simular la señal de un SCR con su explicación de acuerdo a las ondas de entrada y salida. El análisis transitorio está dado a 5 milisegundos, como se aprecia a continuación en la figura 80.



**Fig. 80 Simulación del funcionamiento de un DIAC y un SCR.**

**Fuente: Página Web de National Instrument**

Esta gráfica demuestra el objetivo planteado al inicio de la práctica que es ver el comportamiento de las señales de los dos dispositivos combinados como es el DIAC y el SCR.

### 3.4.5 Práctica # 4: Funcionamiento de un Interruptor Controlado de Voltaje.

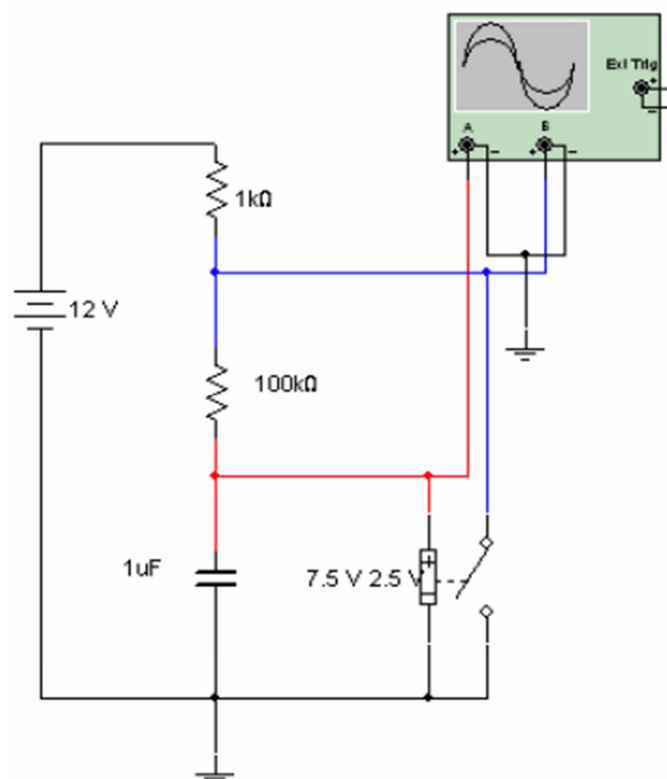
El objetivo de esta práctica es aprender el funcionamiento básico del Funcionamiento de un Interruptor Controlado de Voltaje.

Para la práctica se necesitan los siguientes dispositivos:

- Un Interruptor controlado de 7,5 a 2,5 V.
- Una resistencia de 100 K $\Omega$ .
- Una resistencia de 1 K $\Omega$ .
- Un capacitor de 1 Microfaradio.
- Una fuente de tensión continua de 12V.

Para las entradas se añaden señales DC como entrada procedente de una fuente de 12 V. Cabe recalcar que estos valores pueden ser cambiados para comodidad del usuario.

La figura 81, muestra el interruptor controlado por voltaje:



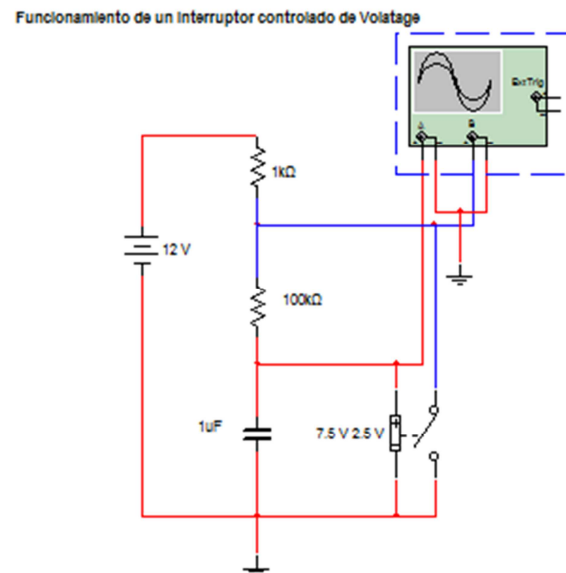
**Fig. 81 Interruptor controlado por voltaje.**  
*Fuente: Página Web de National Instrument*



Se puede apreciar con marcadores rojo y azul la salida.

Para la simulación se utiliza el análisis transitorio a 5 milisegundos, y al correr la simulación se obtiene la gráfica de la figura 82.

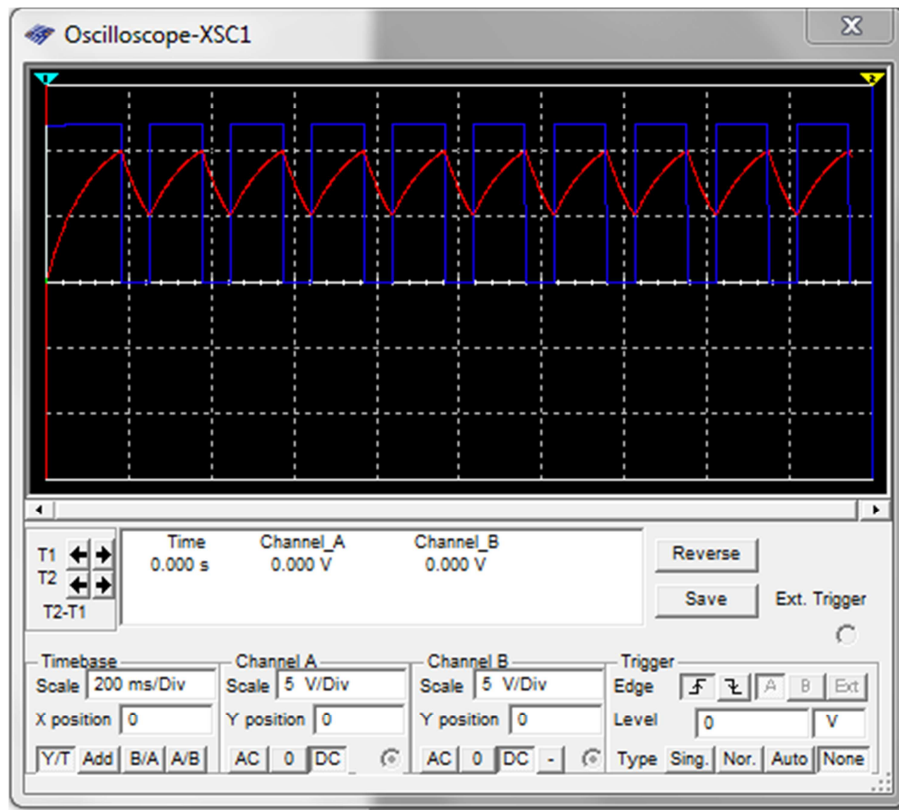
La figura 82, muestra el diagrama esquemático del Funcionamiento de un interruptor controlado por voltaje.



**Fig. 82** Diagrama del Funcionamiento de un interruptor controlado por voltaje.

*Fuente: Página Web de National Instrument*

Para la simulación se utiliza el Osciloscopio y vemos la señal en la gráfica de la figura 83.



**Fig. 83 Simulación del funcionamiento de un interruptor controlado por voltaje.**

*Fuente: Página Web de National Instrument*

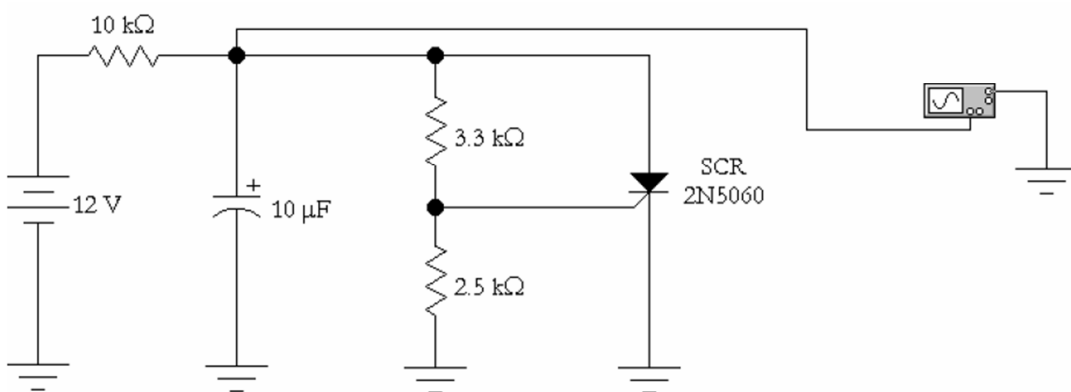
Estas señales son muy claramente apreciables en la simulación de MULTISIM.

### 3.4.6 Práctica #5: Oscilador de Relajación.

En esta práctica se busca verificar la salida de un oscilador de Relajación y el diagrama está conformado por los siguientes elementos:

- Un SCR 2N5060.
- Una resistencia de  $10\text{k}\Omega$ .
- Una resistencia de  $3.3\text{k}\Omega$ .
- Una resistencia de  $2.5\text{k}\Omega$ .
- Un capacitor de  $10\mu\text{F}$ .
- Una fuente de tensión continua de  $12\text{ V}$ .
- Un Osciloscopio

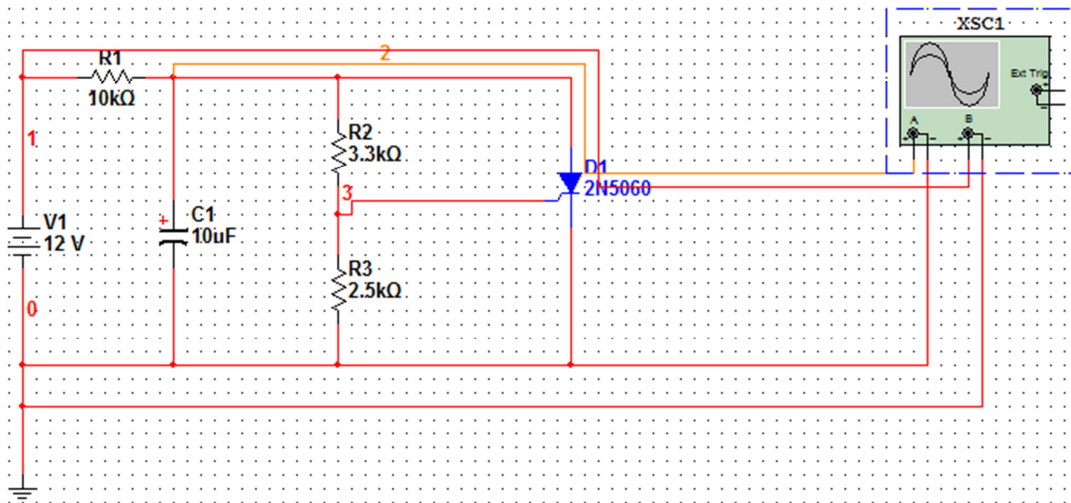
El diagrama esquemático es el de la figura 84.



**Fig. 84 Circuito Oscilador de Relajación.**

*Fuente: Página Web de National Instrument*

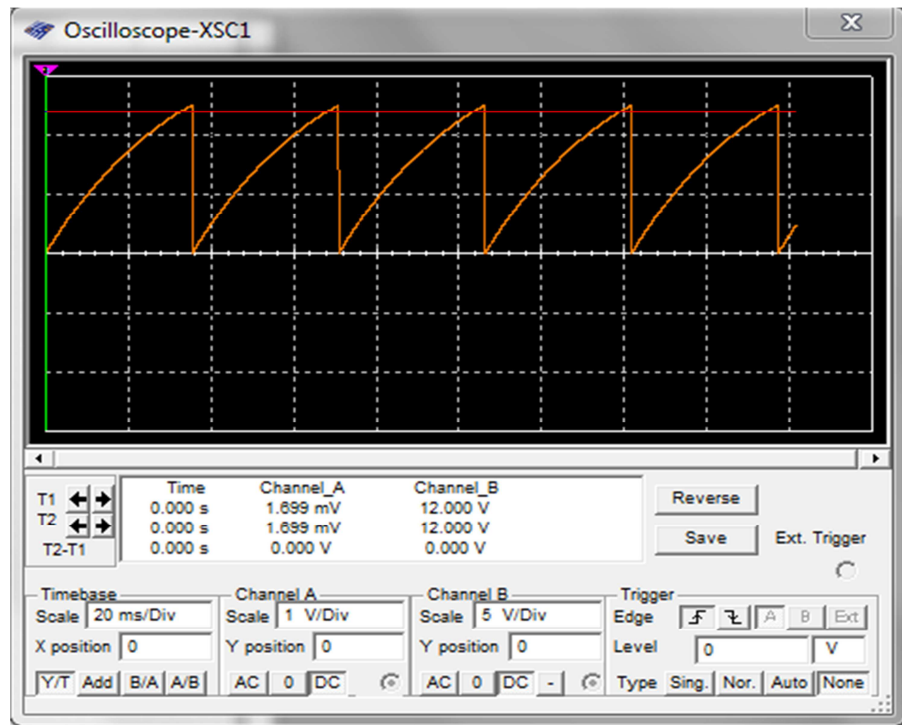
Para realizar el esquemático se debe seguir los pasos descritos en la primera práctica, y para simular este circuito se escogerá el análisis transitorio a un tiempo de unos  $20\text{ ms}$  para observar de mejor manera la onda y los primeros segundos serán irregulares hasta normalizar la onda. En la figura 85, se aprecian las características descritas.



**Fig. 85** En el gráfico se observa el Oscilador de Relajación realizado en MUTISIM.

*Fuente: Página Web de National Instrument*

A continuación se abrirá MULTISIM con la gráfica de la figura 86.



**Fig. 86** Gráfica de la Simulación MULTISIM de un Oscilador de Relajación.

*Fuente: Página Web de National Instrument*

Esta gráfica representa la salida de un Oscilador de Relajación.

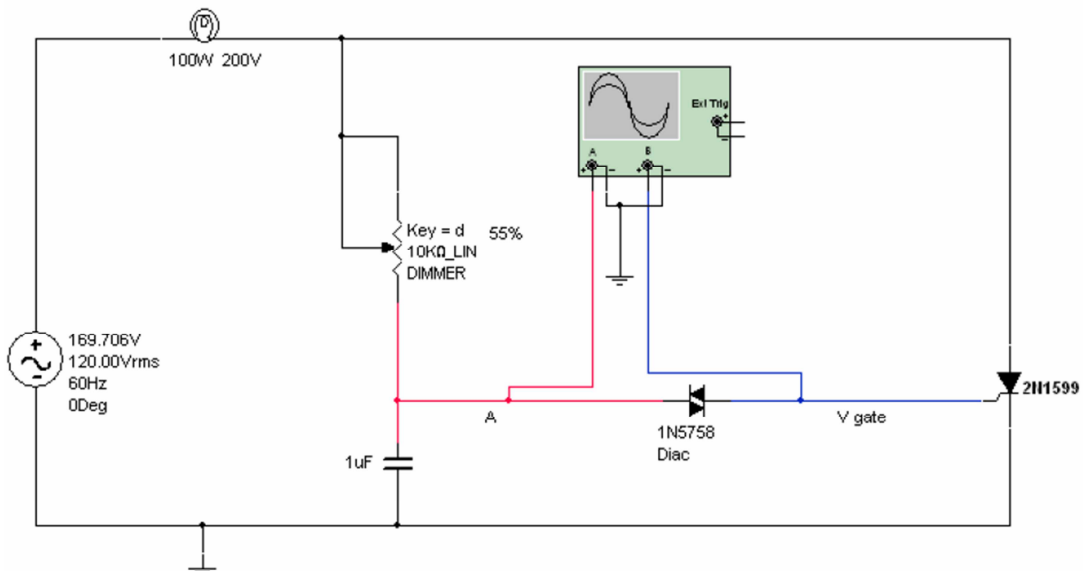
### 3.4.7 Práctica # 6: Control de Cambio de Fase.

En esta práctica se medirá las características de un Control de Cambio de Fase con la ayuda de MULTISIM.

Para el desarrollo de la siguiente práctica se necesitará de los siguientes elementos ubicados en las respectivas librerías de MULTISIM, detallados a continuación:

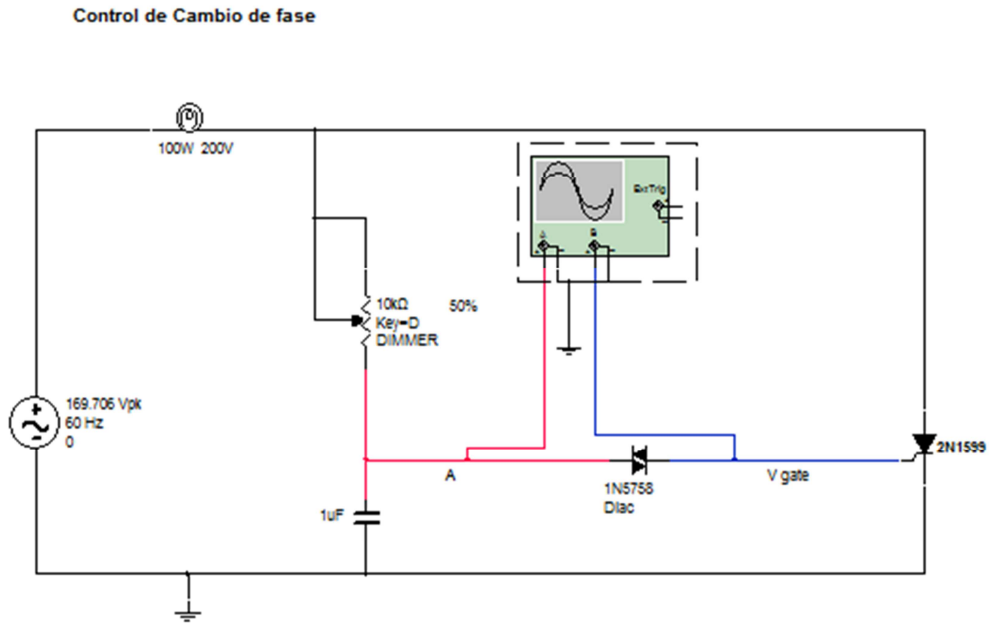
- Un SCR 2N1599.
- Un DIAC 1N5758.
- Un Dimero resistencia variable de 10KΩ.
- Un capacitor de 1μF.
- Un foco de 100 W 200 V.
- Una fuente de corriente alterna de 120 Voltios.

A continuación se debe desarrollar el diagrama de Control de Cambio de Fase, con los pasos descritos en la primera práctica de acuerdo al diagrama de la figura 87.



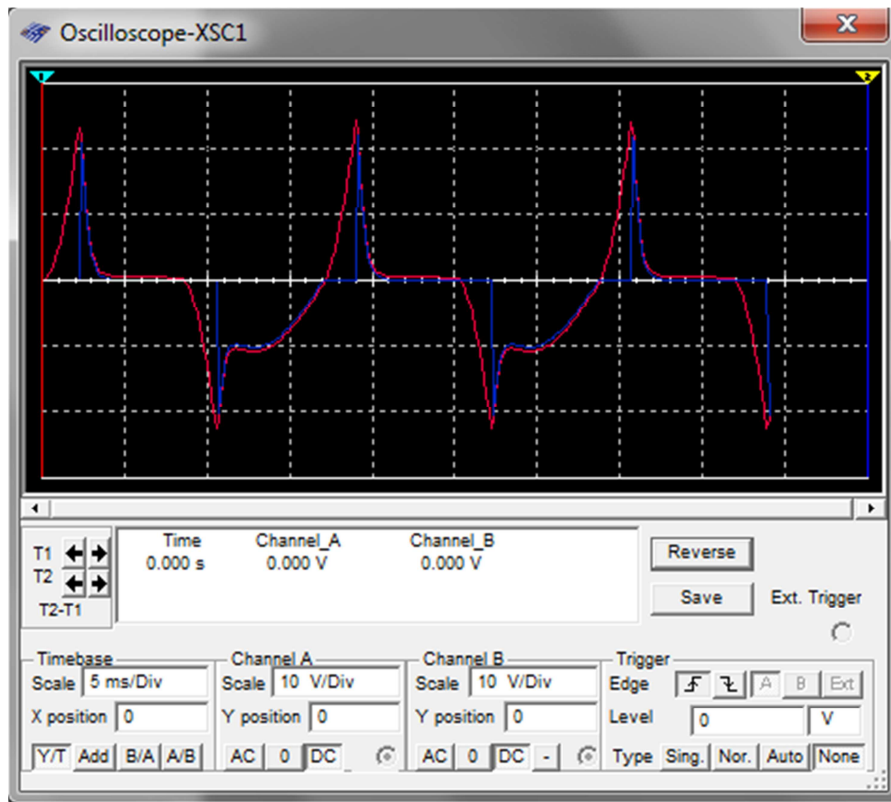
**Fig. 87** Circuito propuesto como control de cambio de fase.  
*Fuente: Página Web de National Instrument*

Al simular el circuito se lo realiza por medio de las características mostradas en la figura 88.



**Fig. 88 Características del Control de Cambio de Fase.**  
*Fuente: Página Web de National Instrument*

Al correr la simulación con la opción *Run*, automáticamente se abrirá la ventana MULTISIM con la siguiente curva, como se muestra en la figura 89.



**Fig. 89 Diagrama de señales de un Control de cambio de fase.**

*Fuente: Página Web de National Instrument*

De esta manera se permite el paso de frecuencias bajas. Se recomienda para la práctica revisar el *datasheet* del SCR 2N1599 y el DIAC 1N5758.

## **CAPÍTULO 4**

### **4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **CONCLUSIONES**

Se han cumplido los objetivos planteados para este tipo de investigación. Para esto se buscó información referente a diferentes tipos de simuladores que presten la viabilidad y capacidad en la comprensión de las prácticas de Electrónica III, determinando a MULTISIM 10.0 como el programa más adecuado a utilizarse en la asignatura de Electrónica III, debido a la facilidad y simplicidad en la ejecución de los circuitos electrónicos y simulación de los mismos.

A medida que se iba desarrollando esta investigación se aprendió el funcionamiento de cada una de las herramientas que brinda este programa, y se realizaron las prácticas adecuadas a los temas descritos de acuerdo al programa o syllabus de la asignatura.

Poco a poco se fueron desarrollando las prácticas a sugerirse para esta materia y de esta manera poder incluirlas dentro del pensum de Electrónica III.

Con todo esto llegamos a la conclusión que de acuerdo a la necesidad de incluir un componente práctico en el programa académico de esta materia, se aconseja a las autoridades de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo la implementación de la aplicación del Programa o Software MULTISIM 10.0 para mayor comprensión de la asignatura por parte del estudiantado de Electrónica III del Sexto Ciclo.

Se debe de tomar en cuenta que por muy robusto que sea el simulador, estas prácticas no son más que una aproximación a la realidad, en consecuencia nunca podrán sustituir al manejo real de los circuitos electrónicos.

Tuvimos la oportunidad de aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en la Universidad, simulando en la herramienta Multisim el mismo que facilitó el aprendizaje en la asignatura.



## RECOMENDACIÓN

El simulador MULTISIM 10.0 es una versión desactualizada que tenemos en el laboratorio actualmente, se recomienda adquirir las licencias de actualización del programa Multisim e instalarlos.

El simulador realiza las tareas que le encomiendan, y no debe perderse la perspectiva de que es una herramienta, tampoco dar por válidos los resultados sin un debido control y seguimiento del estudiante.

Además se aconseja a los docentes que antes de impartir las prácticas expliquen la parte teórica de los circuitos a simular, para evitar confusiones en el desarrollo de la clase.

Además del MULTISIM se pueden usar otros programas de simulación y cálculos para la asignatura de Electrónica III como es SPICE y MATLAB.

Se recomienda llamar a la Materia de Electrónica III como Electrónica de Potencia, ya que así se puede identificar con mayor facilidad el tópico de lo que va a tratar específicamente de la asignatura de la carrera, el término de Electrónica III es muy general y se lo puede identificar o confundir con los contenidos de otras carreras.

Se recomienda integrar en el contenido de la materia si es posible en todos sus capítulos prácticas de simulación, para el mejoramiento del aprendizaje al estudiante.

Se recomienda subir a la WEB de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, específicamente en el *link* de la Facultad Técnica para el Desarrollo en la carrera de Electrónica en control y Automatismo el programa de estudio actualizado así como la malla curricular.

Se recomienda integrar una materia o prácticas de laboratorio de Electrónica de Potencia, para validar lo simulado con lo real.

Se recomienda incluir en el contenido temas actualizados sobre el medio ambiente como los sistemas de conversión de Energías Alternativas.

## 4.2 GLOSARIO

- **BJT.-** *SiliconControlledRectifier*, Rectificador Controlado de Silicio.
- **CAD.-** *ComputerAidedDesign*, Diseño Asistido por Computadora.
- **CANCER.-** *ComputerAnalysis of Non linear CircuitsExcludingRadiation*, Análisis Computarizado de Circuitos No Lineales excluida de Radiación.
- **CMMR.-** Relación de Rechazo en Modo Común.
- **FORTRAN.-** *Formula TranslatingSystem*, Lenguaje de Traducción de Fórmulas.
- **FPGA.-** *Field ProgrammableGateArray*, Matriz de Puertas Programables.
- **GTO.-** *GateTurn-Off SCR Thyristo*), Puerta de Apagado del Tiristor.
- **IGBT.-** *InsulatedGate Bipolar Transistor*, Transistor Bipolar de Puerta Aislada.
- **JFET.-** *Junction Field-Effect Transistor*, transistor de efecto de campo de unión.
- **MOS.-** *Metal-Oxide-Semiconductor*, Semiconductor de oxido metálico.
- **MOSFET.-** *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*, transistor de efecto de campo basado en la estructura MOS.
- **NPN.-***Negative– Positive - Negative*, Negativo – Positivo - Negativo.
- **PC.-** *Personal computer*, Computador Personal.
- **PCB.-***Printed Circuit Board*, Circuito Impreso.
- **PLD.-** *ProgrammableLogicDivise*, Dispositivo Lógico Programable.
- **PNP.-***Positive – Negative - Positive*, Positivo – Negativo – Positivo.
- **SPICE.-***Simulation program with integrated circuits emphasis*, Programa de simulación con énfasis en circuitos integrados.
- **SCR.-** *Siliconcontrolledrectifier*, Rectificador controlado de silicio.
- **TRIAC.-** Trío de para Corriente Alterna.
- **UE.-** Unidad de estudio.
- **VHDL.-** Acrónimo de la unión de palabras VHSIC (*very high speed integred circuit*) y HDL (*hardware description language*).

### 4.3 BIBLIOGRAFIA

(s.f.). Recuperado el 17 de Marzo de 2011, de <http://www.futureworkss.com/tecnologicos/electronica/manuales/Guia%20rapida%20de%20Orcad%209.pdf>.

Aguilar, J. (15 de 09 de 2000). <http://e-spacio.uned.es>. Obtenido de <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=taee:congreso-2000-1144&dsID=S3B05.pdf>

Albert Paul Malvino, P. B. (2001). *Prácticas de electrónica*. Mexico DF: Marcombo.

*Amplificación de pequeña señal con transistores BJT*. (s.f.). Recuperado el 23 de enero de 2011, de Amplificación de pequeña señal con transistores BJT: <http://www.scribd.com/doc/2063782/DSE-2-Amplificacion-de-pequena-senal-con-transistores-BJT-y-FET>

Ángela Arribas, U. L. (s.f.). <http://www.cea-ifac.es>. Obtenido de <http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXVIII/documentos/2031-Paper%20carretel.pdf>

B, C. A. (02 de Julio de 2007). <http://teyet-revista.info.unlp.edu.ar>. Obtenido de <http://teyet-revista.info.unlp.edu.ar/nuevo/files/No2/TEYET2-art07.pdf>

Boylestad and Nashelsky. (2006). *Electronic devices and circuit Theory*. Recuperado el 24 de Marzo de 2011, de <ftp://ftp.itmerida.mx/SistemasAnalogicos/SistemasAnalogicosMecanica/SistemasAnalogicos/Unidad1/OpAmpAplic.pdf>

Burdio, J. (2002). Nuevas tendencias en la enseñanza de la electrónica de potencia (I). *Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones. Centro Politécnico*, 23-26.

*Dispositivos semiconductores*. (10 de diciembre de 2010). Recuperado el 23 de enero de 2011, de Dispositivos semiconductores: <http://www.issuu.com/>

Ernesto, L. (s.f.). *Que es la Electronica*. Recuperado el 18 de 01 de 2011, de Que es la Electronica: <http://www.monografias.com/trabajos5/electro/electro.shtml>  
monografias.com

fernandez, M. A. (21 de marzo de 2007). *Amplificadores Operacionales*. Recuperado el 23 de enero de 2011, de Amplificadores Operacionales : <http://www.monografias.com/trabajos45/amplificadores-operacionales/amplificadores-operacionales2.shtml>

Fernández, M. H. (2004). *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Mexico: Pearson Educación.

*Filtros*. (s.f.). Recuperado el 14 de Abril de 2011, de [www.terra.es](http://www.terra.es): [www.terra.es/personal2/equipos2/filtros.htm](http://www.terra.es/personal2/equipos2/filtros.htm)

Giraldo, B. F. (s.f.). *PRÁCTICAS DESARROLLADAS MEDIANTE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE COOPERATIVO*. Recuperado el 16 de enero de 2011, de PRÁCTICAS DESARROLLADAS MEDIANTE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE COOPERATIVO: <http://giac.upc.es/JAC10/02/Article%28BeatrizGiraldo%29%2803%29.htm>

Granados, J. P. (Septiembre de 2003). *Procedimientos Basicos Para la Simulacion de Circuitos Electrónicos utilizando PSpice® A/D (OrCAD Lite Edition 9.2)*. Recuperado el 19 de enero de 2011, de Procedimientos Basicos Para la Simulacion de Circuitos Electrónicos utilizando PSpice® A/D (OrCAD Lite Edition 9.2): <http://www.eie.ucr.ac.cr/uploads/file/software/guiaspice.pdf> <http://www.eie.ucr.ac.cr/>

*Introduccion a los sistemas osciladores*. (s.f.). Recuperado el 15 de Abril de 2011, de <http://personales.ya.com/casanchi/fis/oscila01.htm>

José Manuel Benavent García, A. A. (1999). *Electrónica de potencia: teoría y aplicaciones*. Valencia; España: Universidad Politécnica de Valencia.

López, J. d. (2002). *Dispositivos electrónicos de potencia*. Mexico: Universidad Autónoma de Baja California.

Maloney, T. J. (2006). *Electrónica industrial moderna*. Mexico: Pearson Educación.

Miguel Angel Zamora Izquierdo, G. V. (2004). *Problemas de electronica con Orcad Pspice. Primera Edicion*. Murcia, : Universidad de Murcia.

Miguel, P. A. (2009). *ELECTRÓNICA(Ciclo Formativo GM)*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.

Nashelsky, R. L.-L. (s.f.). *Teoria de Circuitos*. Recuperado el 23 de enero de 2011, de Teoria de Circuitos: [http://issuu.com/sanchezdiaz/docs/dispositivos\\_semiconductores#download](http://issuu.com/sanchezdiaz/docs/dispositivos_semiconductores#download)

Ordóñez, S. (2006). Crisis y reestructuración de la industria electrónica mundial y reconversión en México. *revistas bancomext*, 550-564.

perez, I. (s.f.). *Introducción a la simulación de circuitos electrónicos*. Recuperado el 18 de enero de 2011, de Introducción a la simulación de circuitos electrónicos: [http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/componentes-y-circuitos-electronicos/practicas-1/OCW-CCE\\_P1\\_Introduccion\\_simulacion\\_circuitos\\_electronicos.pdf](http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/componentes-y-circuitos-electronicos/practicas-1/OCW-CCE_P1_Introduccion_simulacion_circuitos_electronicos.pdf)

Rashid, M. H. *Electrónica de Potencia Circuitos Dispositivos y Aplicaciones. Tercera edicion*. Person educación Mexico 2004 : Pearson Prentice Hal.

Rashid, M. H. (2006). *Power electronics handbook: devices, circuits, and applications*. San Diego California; EEUU: Academic Press.

Rivera, P. C. (s.f.). *Retroalimentacion y Osciladores ELEN 3312- Electronica II*. Recuperado el 23 de enero de 2011, de Retroalimentacion y Osciladores ELEN 3312-

Electronica II:

[http://bc.inter.edu/facultad/cgonzalezr/ELEN3312/Feedback\\_Oscillator.pdf](http://bc.inter.edu/facultad/cgonzalezr/ELEN3312/Feedback_Oscillator.pdf)

Salvador Martínez García, J. A. (2006). *Electrónica de potencia: componentes, topologías y equipos*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.

Salvador Seguí Chilet, S. O. (2002). *Fundamentos básicos de la electrónica de potencia*. Valencia; España: Ed. Univ. Politéc. Valencia.

Viejo, C. B. (2005). *Fundamentos de electrónica digital*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.

[www.futureworkss.com](http://www.futureworkss.com). (s.f.). Recuperado el 17 de Marzo de 2011, de <http://www.futureworkss.com/tecnologicos/electronica/manuales/Guia%20rapida%20de%20Orcad%209.pdf>

[www.hcdsc.gov.ar/biblioteca/ises/.../amplificador%20operacional.pdf](http://www.hcdsc.gov.ar/biblioteca/ises/.../amplificador%20operacional.pdf). (s.f.). Recuperado el 23 de Marzo de 2010

## 5. ANEXOS

### 5.1 Programa de Estudio de la asignatura de Electrónica III de La Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Pag: 1

INGENIERIA EN ELECTRONICA - INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL DE AUTOMATISMO

PACC004R

PREGRADO

SEMESTRE A/2011

Fecha de inicio: 11-04-2011

Fecha de fin: 30-08-2011

ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

Asignatura: CONTROL E INSTRUMENTACION Y ELECTRONICA

VI CICLO

ELECTRONICA III

Crédito: 4.00 Horas por Semana: 4.00 % Mínimo de Asistencia: 70

Objetivos del Curso:

:

Contenido de la materia

UNIDAD 1. SISTEMAS LINEALES Y NO LINEALES UTILIZANDO A.O.,

1.1 EVOLUCION DE LA ELECTROMECAICA DE POTENCIA

1.2 CLASIFICACION Y TIPOS DE CONMUTACION Y CONVERSION

1.3 CARACTERISTICAS Y TIPOS DE DIODOS DE POTENCIA

1.4 CIRCUITOS BASICOS CON DIODOS

1.5 AMPLIFICADORES LOGARÍTMICOS Y ANTILOGARÍTMICOS

1.6 RECTIFICADORES DE PRECISIÓN ASÍ COMO CIRCUITOS DE CONTROL Y PROCESADORES DE SEÑAL.

1.7 ANÁLISIS, DISEÑO,

1.8 SIMULACIÓN

1.9 MONTAJE Y MEDICIÓN

UNIDAD 2. GENERADORES Y CONFORMADORES DE ONDA.

2.1 TIPOS DE TIRISTORES

2.2 CONVERTIDORES TRIFASICOS

2.3 FENOMENO DE SOLAPAMIENTO

2.4 FUNCIONAMIENTO COMO ONDULADOR

2.5 CRITERIOS GENERALES DE OSCILACIÓN PARA OSCILADORES SINUSOIDALES Y DE REAJUSTACIÓN.

2.6 CIRCUITOS GENERADORES DE ONDAS SINUSOIDALES, DE ONDAS RECTANGULARES Y TRIANGULARES. ANÁLISIS, DISEÑO, MONTAJE Y MEDICIÓN.

UNIDAD 3.- ESTABILIZADORES DE VOLTAJE.

3.1 TIPOS DE TRANSISTORES DE POTENCIA

3.2 TRANSISTOR DE UNION BIPOLAR

3.3 TRANSISTOR MOSFET

3.4 TRANSISTOR IGBT

3.5 TRANSISTOR SIT

3.6 ESQUEMAS CON ELEMENTOS DISCRETOS Y CI DE ESTABILIZADORES ANALÓGICOS Y DE CONMUTACIÓN.

3.6 ANÁLISIS, DISEÑO, MONTAJE Y MEDICIÓN.

UNIDAD 4 - CIRCUITOS SELECTIVOS DE FRECUENCIA TALES COMO FILTROS RC Y CONMUTADOS. PLL.



PROGRAMA DE ESTUDIO

Fecha: 09-06-2011 17:45:25

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Pag: 2

FACULTAD TECNICA - INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL DE AUTOMATISMO

PACC004R

Nivel: PREGRADO  
Periodo: SEMESTRE A/2011 Fecha de inicio: 11-04-2011 Fecha de fin: 30-08-2011  
Malla: ELECTRONICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO  
Área Académica: CONTROL E INSTRUMENTACION Y ELECTRONICA  
Ciclo: VI CICLO  
Materia: ELECTRONICA III  
Crédito: 4.00 Horas por Semana: 4.00 % Mínimo de Asistencia: 70

Contenido de la materia

- 4.1 ANÁLISIS
  - 4.2 DISEÑO
  - 4.3 SIMULACIÓN
  - 4.4 MONTAJE Y MEDICIÓN.
- CAP 5.- CONVERTIDORES D/A Y A/D. PARÁMETROS.
- 5.1 TIPOS FUNDAMENTALES DE CONVERTIDORES D/A Y A/CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CI COMERCIALES.

**5.2 Programa de Estudio de la Asignatura de Electrónica de Potencia de Escuela Superior Politécnica del Litoral Espol.**

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

PROGRAMA DE ESTUDIOS



AU42

**ELECTRÓNICA DE POTENCIA I**

UNIDAD ACADÉMICA:	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación		
CARRERA:	Ingeniería en Electricidad.		
ESPECIALIZACIÓN:	Electrónica y Automatización Industrial.		
ÁREA:	Industrial		
TIPO DE MATERIA:	TEÓRICA	<input checked="" type="checkbox"/> PRÁCTICA	
EJE DE FORMACIÓN:	Profesional		

**1. NOMBRE DE LA ASIGNATURA**

CÓDIGO:	MATERIA:
FIEC03129	<b>ELECTRÓNICA DE POTENCIA I.</b>
PRE-REQUISITOS	
FIEC00190	Electrónica II.
FIEC00133	Maquinaria Eléctrica I.
CO-REQUISITOS	
EQUIVALENTE A:	
CONVALIDA CON:	

CRÉDITOS/HORAS/SEMANALES:	
TEÓRICOS	4
PRÁCTICOS	

PROFESOR RESPONSABLE
<b>Ing. Alberto Larco Gómez.</b>

**2. OBJETIVOS**

- Analizar, diseñar y dimensionar equipos industriales que utilicen: Rectificadores no controlados, rectificadores controlados y controladores de voltaje alterno.
- Rediseñar configuraciones y/o redimensionar componentes en equipos industriales que utilicen dentro de sus subsistemas: Rectificadores no controlados, rectificadores controlados y controladores de voltaje alterno.

PROGRAMA DE ESTUDIO: **ELECTRÓNICA DE POTENCIA I**





- 2.4. Transistores de potencia: BJT, MDs, MOSFET, SIT, IGBT.
- 2.5. Modelos y curvas características para los semiconductores de potencia utilizando MATLAB y SPICE.
- 2.6. Circuitos de protección de dispositivos semiconductores.

**3. SISTEMAS DE RECTIFICACIÓN NO CONTROLADA  
CONMUTADOS POR LÍNEA.**

- 3.1. Rectificadores monofásicos de media onda: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.
- 3.2. Rectificadores monofásicos de onda completa con transformador de toma intermedia: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.
- 3.3. Rectificadores monofásicos de onda completa tipo puente: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.
- 3.4. Rectificadores trifásicos de media onda: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.
- 3.5. Rectificadores trifásicos tipo puente de onda completa: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.
- 3.6. Rectificadores de doce pulsos: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.
- 3.7. Configuraciones especiales de sistemas de rectificación no controlada.
- 3.8. Efectos de la inductancia de la fuente de alimentación en la conmutación de corriente y coordinación de protecciones de los rectificadores no controlados.
- 3.9. Simulación y análisis armónico de los sistemas de rectificación no controlada mediante el uso de MATLAB y SPICE.

**4. SISTEMAS DE RECTIFICACIÓN CONTROLADA  
CONMUTADOS POR LÍNEA.**

- 4.1. Rectificadores controlados monofásicos de media onda: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.
- 4.2. Rectificadores controlados monofásicos de onda completa con transformador de toma intermedia: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.
- 4.3. Rectificadores controlados monofásicos de onda completa tipo puente: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz, operación con corriente continua y discontinua, operación en el modo rectificador y modo inversor.



- 4.4. Rectificadores controlados trifásicos de media onda: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.
  - 4.5. Rectificadores controlados trifásicos tipo puente de onda completa: Combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz, operación con corriente continua y discontinua, operación en el modo rectificador y modo inversor.
  - 4.6. Rectificadores controlados de doce pulsos: combinación de cargas RLC y fuerza contraelectromotriz.
  - 4.7. Configuraciones especiales de sistemas de rectificación controlada.
  - 4.8. Efectos de la inductancia de la fuente de alimentación en la conmutación de corriente y coordinación de protecciones de los rectificadores controlados.
  - 4.9. Simulación y análisis de armónicos de los sistemas de rectificación controlada mediante el uso de MATLAB y SPICE.
  - 4.10. Sistemas de control de velocidad de motores DC de excitación separada: Circuitos de disparo, lazos de control de corriente y velocidad, métodos de compensación IxR. Uso de MATLAB, SPICE y SIMULINK para el análisis de sistemas de control de velocidad. análisis y parametrización de sistemas para aplicaciones industriales.
  - 4.11. Sistemas de alimentación DC y cargadores de baterías: Circuitos de disparo, lazos de control y protecciones.
  - 4.12. Sistemas de control de velocidad de cargas mecánicas por control de excitación DC de embragues magnéticos movilizadas por motores de inducción trifásicos.
- 5. SISTEMAS CONTROLADORES DE VOLTAJE ALTERNO.**
- 5.1. Conmutados por línea.
  - 5.2. Clasificación de los controladores de voltaje alternos conmutados por línea.
  - 5.3. Controladores monofásicos de media onda y onda completa: Señales de disparo, análisis armónico.
  - 5.4. Controladores trifásicos de media onda y onda completa conectados en estrella: Señales de disparo, análisis armónico.
  - 5.5. Controladores trifásicos de media onda y onda completa conectados en delta: Señales de disparo, análisis armónico.
  - 5.6. Arrancadores suaves (estáticos) y controles de velocidad para motores de inducción trifásicos con rotor jaula de ardilla basados en controladores de voltaje alterno: Análisis y parametrización de sistemas para aplicaciones industriales.



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL  
LITORAL



PROGRAMA DE ESTUDIOS

5.7. Cambiadores automáticos de pasos para el control de voltaje de transformadores de tomas múltiples: Análisis del circuito de control y disparo.

5.8. Simulación y análisis de armónicos de los sistemas controladores de voltaje alterno mediante el uso de MATLAB y SPICE.

**6. TÉCNICAS DE CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS CON TIRISTORES.**

6.1. Clasificación de las técnicas de conmutación.

6.2. Conmutación de línea.

6.3. Conmutación de carga.

6.4. Conmutación forzada.

6.5. Análisis de circuitos de conmutación con SPICE.

**5. TEXTO GUÍA**

- POWER ELECTRONICS: Circuits, Devices, and applications  
Autor: Muhammad H. Rashid.  
Editorial: Prentice Hall

**6. BIBLIOGRAFÍA**

- POWER SEMICONDUCTOR CIRCUITS  
Autor: S. B. Dewan  
Straughen.  
Editorial: Editorial: Jhon Wiley & Sons.
- ELECTRONICA DE POTENCIA: Teoría y aplicaciones  
Autor: José Benavent García.  
Antonio Abellán García.  
Emilio Figueres Amorós.  
Editorial: Alfaomega.
- POWER ELECTRONICS: Converters, Applications and Design  
Autor: Mohan  
Undeland  
Robbins  
Editorial: Jhon Wiley & Sons

PROGRAMA DE ESTUDIO: **Electrónica de Potencia I**




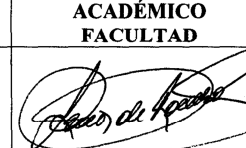
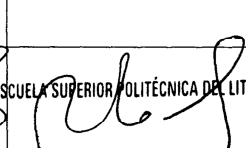
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL



PROGRAMA DE ESTUDIOS

➤ POWER ELECTRONICS AND AC DRIVES.  
Autor: B. K. Bose.  
Editorial: Prentice Hall.

7. VISADO

DECANO	SECRETARIO ACADÉMICO FACULTAD	STA
 Ing. Gustavo Bermúdez F. Firma	 Sra. Leonor Caicedo G. Firma	 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ING. WASHINGTON MEDINA MOREIRA SECRETARIO TÉCNICO ACADÉMICO
FECHA: 15 OCT 2007	FECHA: 15 OCT 2007	FECHA: 15 OCT 2007

8. VIGENCIA DEL PROGRAMA

RESOLUCIÓN COMISIÓN ACADÉMICA: CAC-2005-561

PROGRAMA DE ESTUDIO: Electrónica de Potencia I

**5.3 Programa de Estudio de la asignatura de Electrónica de Potencia de la Universidad Nacional de Quilmes**

**INGENIERÍA EN  
AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL INDUSTRIAL**

**Departamento de Ciencia y Tecnología**

**Universidad Nacional de Quilmes**

Sede Florencio Varela: Av. Calchaquí alt. 5800 km 23,5 F. Varela (1888) te: (54-11) 4275-7714

[iaci@unq.edu.ar](mailto:iaci@unq.edu.ar)

- 1- CARRERA:** Ingeniería en Automatización y Control Industrial.
- 2- AÑO/CUATRIMESTRE:** 2005 / 2°.
- 3- NOMBRE DE LA ASIGNATURA:** Electrónica de Potencia.
- 4- NOMBRE DEL PROFESOR:** Marcelo Gustavo Cendoya.
- 5- NÚCLEO AL QUE PERTENECE LA ASIGNATURA:** Básico.
- 6- ÁREA DE CONOCIMIENTO:** Electrónica.
- 7- TIPO DE ASIGNATURA:** Teórico-Práctico.
- 8- CRÉDITOS:** 12.
- 9- CARGA HORARIA SEMANAL:** 6 horas.

## **10- OBJETIVOS DEL CURSO:**

Introducir el principio de funcionamiento, características básicas, métodos de análisis y herramientas de simulación de los convertidores estáticos de potencia más difundidos. Obtener criterios de selección y dimensionamiento de los componentes fundamentales del convertidor para una dada aplicación. Estudiar las principales aplicaciones de los convertidores estáticos.

**11- MODALIDAD:** Presencial.

**12- CONOCIMIENTOS ó COMPETENCIAS PREVIOS PARA EL MEJOR APROVECHAMIENTO DEL CURSO:** Electrónica Analógica I - Control Automático I

## **13- CONTENIDOS MÍNIMOS:**

Convertidores estáticos de potencia. Principio de funcionamiento, características, análisis y simulación. Convertidores CA-CC: rectificadores y rectificadores controlados, monofásicos y trifásicos. Convertidores CC-CC: fuentes de switching. Convertidores CC-CA: inversores, monofásicos y trifásicos. Aplicaciones de los convertidores: Fuentes de alimentación ininterrumpida (UPS), Accionamientos de máquinas eléctricas de CC y CA (motor drives), Filtros activos de potencia (APF), Sistemas de transmisión de CA flexibles (FACTS), Sistemas de corrección electrónica del factor de potencia (PFC). Sistemas de conversión de energías alternativas (Eólica, Solar, Hidráulica, Celdas de combustible, etc.).

## **14- PROGRAMA ANALÍTICO:**

### ***INTRODUCCIÓN***

¿Qué es la electrónica de potencia?

La electrónica de potencia versus la electrónica lineal.

Naturaleza interdisciplinaria de la electrónica potencia.

Metas y métodos de la conversión de energía eléctrica.

Clasificación de los convertidores de potencia eléctrica.

Clasificación de las llaves de acuerdo a su grado de controlabilidad y de acuerdo al sentido de las tensiones y corrientes que manejan.

Pérdidas en las llaves: por conducción y por conmutación.

Características de los principales dispositivos electrónicos usados como llaves: Diodo de potencia, Tiristor y transistores BJT, MOSFET e IGBT.

### ***CONVERSIÓN CA-CC – RECTIFICADORES CONTROLADOS***

Rectificador de media onda, onda completa monofásico y trifásico. Diferentes tipos de carga.

Régimen de conducción continua y discontinua. Diodo de rueda libre.

Efecto de conmutación.

### ***CONVERSIÓN CC-CC – FUENTES CONMUTADAS***

Topologías para conversión CC-CC.

El convertidor directo y el convertidor indirecto.

Convertidores básicos con un solo interruptor: reductor, elevador y reductor-elevador.

Conducción continua y discontinua.

Convertidores aislados. Convertidores con más de un interruptor.

### ***CONVERSIÓN CC-CA – INVERSORES AUTÓNOMOS***

Convertidor CC-CA de tensión: medio puente, puente completo monofásico y puente trifásico.

Inversor de onda cuadrada.

Técnicas de control de amplitud. Modulación por anchura de impulsos (PWM).

### ***APLICACIONES DE LOS CONVERTIDORES ESTÁTICOS***

Sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS).

Correctores de Factor de Potencia (PFC).

Filtros Activos de Potencia (APF).

Sistemas de transmisión de CA flexibles (FACTS).

Sistemas de Conversión de Energías Alternativas (Eólica, Solar, etc.)

Accionamientos de Máquinas Eléctricas de CC y de CA (Motor Drives)

## **15- FORMA DE EVALUACIÓN:**

La evaluación se efectuará de la siguiente manera:

- 1) Presentación de trabajos prácticos sobre cada uno de los temas, que serán evaluados oralmente.
- 2) Presentación de un trabajo final (individual o realizado en comisiones de no más de dos alumnos). Se deberá elaborar un informe con el desarrollo teórico del trabajo, los resultados del análisis y las simulaciones. Los temas de dicho trabajo serán propuestos por el docente. El trabajo será evaluado oralmente.

La nota final del curso se obtendrá como promedio de todas las evaluaciones y ésta deberá ser de 6 (seis) o más puntos para obtener la promoción directa. En caso de obtenerse una calificación mayor o igual a 4 (cuatro) y menor de 6 (seis) puntos se deberá rendir un examen final.

## **16- CRONOGRAMA TENTATIVO:**

En la medida de lo posible todas las clases incluirán: exposición teórica del tema del día, práctica con resolución de ejercicios típicos y simulación en computadora para verificar los resultados obtenidos.

4/8 Introducción a la asignatura. Circuitos de potencia en conmutación. Llaves de potencia. Tipos de convertidores.

11/8 Convertidores CA-CC (Rectificadores y rectificadores controlados).

18/8 Convertidores CA-CC (Rectificadores controlados).

25/8 Convertidores CA-CC (Rectificadores controlados).

1/9 Convertidores CC-CC (Fuentes de Switching).

8/9 Convertidores CC-CC (Fuentes de Switching).

15/9 Convertidores CC-CC (Fuentes de Switching).

22/9 Convertidores CC-CA (Inversores).

29/9 Convertidores CC-CA (Inversores).

6/10 Convertidores CC-CA (Inversores).

13/10 Aplicaciones de los convertidores: Sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS).

20/10 Aplicaciones de los convertidores: Correctores electrónicos del factor de potencia (PFC).



- 27/10      Aplicaciones de los convertidores: Filtros activos de potencia (APF).  
Sistemas de transmisión de CA flexibles (FACTS).
- 3/11        Aplicaciones de los convertidores: Accionamientos de máquinas eléctricas  
de CC.
- 10/11      Aplicaciones de los convertidores: Accionamientos de máquinas eléctricas  
de CA.
- 17/11      Aplicaciones de los convertidores: Sistemas de conversión de energías  
alternativas.
- 24/11      Aplicaciones de los convertidores: Sistemas de conversión de energías  
alternativas.
- 1/12        Entrega y evaluación del trabajo final del curso.
- 
- 3/12        Fin del segundo cuatrimestre.
- 17/12      Entrega de Actas.

## **17- BIBLIOGRAFÍA OBLIGATORIA:**

### ***Electrónica de Potencia***

D.W. Hart

Prentice Hall Hispanoamerica, 2001.

### ***Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones***

M.H. Rashid

2da Ed., Prentice Hall Hispanoamerica, 1995.

### ***Power Electronics: Converters, Applications, and Design***

N. Mohan, T.M. Undeland, W.P. Robbins,

2nd Ed., John Wiley, 1995.

## **18- BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA:**

### ***Fundamentals of Power Electronics***

R.W. Erickson, D. Maksimovic

2nd Ed., Kluwer Academic Publishers, Boston USA, 2001.

***Principles of Power Electronics***

J.G. Kassakian, M.F. Schlecht, G.C. Verghese,  
Addison-Wesley, 1992.

***Elements of Power Electronics***

P.T. Krein  
Oxford University Press, 1998

***Power Electronics and AC Drives***

B.K. Bose  
Prentice-Hall, New Jersey, USA, 1986.

***Modern Power Electronics and AC Drives***

B.K. Bose  
Prentice-Hall, 2002.

***Control of Electrical Drives***

W. Leonhard  
2nd Ed. Springer-Verlag, Berlin, 1996.

***Electric Drives: An Integrative Approach***

N. Mohan,  
MNPERE, Minneapolis, USA, 2001.

***Power Electronics Control of AC Motors***

J.M.D. Murphy, F.G. Turnbull,

Pergamon Press, Oxford, UK, 1988.

**19- HORAS DE ESTUDIO RECOMENDADAS FUERA DE CLASE:** 4 horas por semana.

**20- CURRÍCULUM ABREVIADO DEL DOCENTE A CARGO DEL CURSO:**

Títulos:*Ingeniero en Telecomunicaciones, UNLP, Argentina, 1987. Master en Ingeniería Eléctrica, UFRJ, Brasil, 1992.*

Docencia:Profesor Asociado, UNQ. Profesor Adjunto, UNLP. Ha dictado cursos de Postgrado en la UNLP y la UNR.

Actividad Científica:Realiza tareas de investigación y desarrollo en el área deElectrónica de Potencia en el Laboratorio LEICI, Dto. de Electrotecnia, Fac. Ing., UNLP. Tiene trabajos publicados en revistas internacionales, congresos locales e internacionales.

**21- E-MAIL DOCENTE:**[m\\_cendoya@yahoo.com](mailto:m_cendoya@yahoo.com)