

## SEMICONDUCTOR DEVICES FOR POWER ELECTRONICS ®.

## DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA ®.

<sup>1</sup>Jeisson Julián Saavedra García,

### Universitaria de investigación y desarrollo UDÍ

Asignatura Electrónica de Potencia, Escuela de ingeniería electrónica y telecomunicaciones,

<sup>1</sup>Ingeniería electrónica, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Tel: 6202638-6222863, fax: 6200790

<sup>1</sup>Jeisson20saavedra@gmail.com

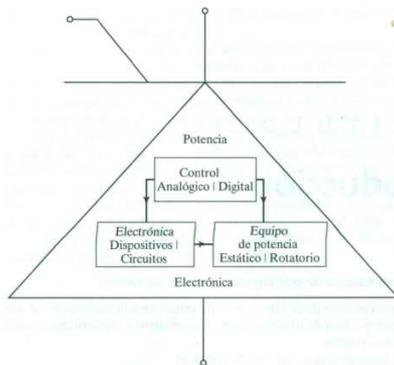
**Abstract:** *This work is born with the aim of increasing knowledge of the power electronics in the path of learning of the career of electronic engineering, in this way understand the different semiconductor devices that are used on a daily basis in the practice and implementation of the same, making an inquiry from its beginnings up to as they have evolved in today. And is that these elements silicon semiconductor developed for this purpose and which, according to its internal settings can be used in the different stages of control of industrial systems, which is why it is important that the content of this work will focus on the teaching of the functionality and the parameters that make up these elements power semiconductors, in order to optimize its use of rational and effective manner to promote any industrial process. The more general objective of this work is to know each of the elements more recognized and employees in the power electronics and that these are considered to be the primary for the development of others.*

**Key words:** *Transistor, diode, BJT, IGBT, SCR, GTO, THYRISTOR, TRIAC, MOSFET, TRIAC, power electronics, power, control, driving, conversely, direct, polarization.*

**Resumen:** Este trabajo nace con el fin de incrementar los conocimientos de la electrónica de potencia en el camino del aprendizaje de la carrera de ingeniería electrónica, de esta manera comprender los diferentes dispositivos semiconductores que se emplean a diario en la práctica e implementación de la misma, haciendo una indagación desde sus inicios hasta cómo han evolucionado hasta el día de hoy. Y es que estos elementos semiconductores de silicio elaborados con este fin y que según su configuración interna se pueden emplear en las diferentes etapas de control de sistemas industriales. Por ello es importante que el contenido de este trabajo se enfoque en la enseñanza de la funcionalidad y de los parámetros que componen estos elementos semiconductores de potencia, para poder optimizar su uso de forma racional y eficaz para favorecer cualquier proceso industrial. El objetivo más general de ese trabajo es dar a conocer cada uno de los elementos más reconocidos y empleados en la electrónica de potencia y que estos se consideran como los primarios para la elaboración de otros.

**Palabras claves:** transistor, diodo, BJT, IGBT, SCR, GTO, tiristor, TRIAC, MOSFET, TRIAC, electrónica de potencia, potencia, control, conducción, inversa, directa, polarización.

## INTRODUCCIÓN:



**Figura 1.** Relación entre electrónica de potencia, potencia, electrónica y control.

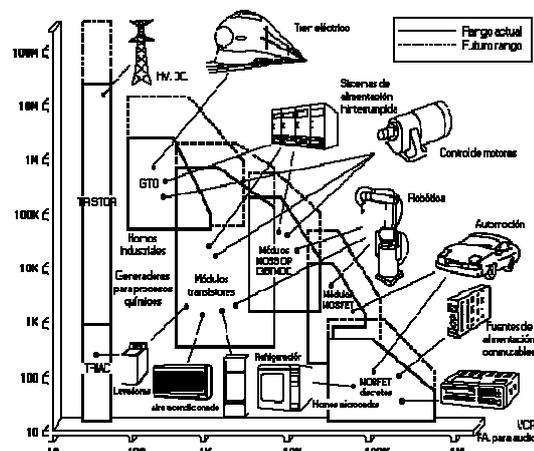
La electrónica de potencia ya encontró un lugar importante en la tecnología moderna y se usa ahora en una gran sin número de diversidad de productos como control de temperatura, de iluminación, de motores, fuentes de poder, sistemas de impulsión de vehículos y sistemas de corriente directa en altos voltaje.

La electrónica de potencia tiene sus inicios en 1900 con la introducción del rectificador de arco de mercurio, después se introdujeron el rectificador de tanque metálico, el de tubo al vacío controlado por la rejilla, el ignitrón, el fanotrón y el tiratrón estos dispositivos se aplicaron en el control de la electrónica de potencia hasta la década de 1950.

La primera revolución electrónica comenzó en 1948. Con la invención del transistor de silicio por Bell Telephone laboratorios, Bardeen, Brattain y Shockley. La mayor parte de las tecnologías modernas de electrónica avanzada se puede rastrear a partir de ese invento es mas la microelectrónica a avanzado a partir de la creación de estos elementos semiconductores de silicio. El siguiente adelanto en 1956 fue la invención del transistor de disparo PNP, que se definió como tiristor o rectificador controlado de silicio (SCR).

La segunda revolución electrónica comenzó en 1958, con el desarrollo del tiristor comercial, por la General Electric company. Desde entonces se han introducido diversas formas de dispositivos de electrónica de potencia, la microelectrónica nos permitió procesar y almacenar una gigantesca información a velocidades sorprendentes que nos facilita el trabajo y la practica en el campo industrial desde sus diferentes aplicaciones.

## DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES DE ELECTRÓNICA DE POTENCIA



**Figura 2.** Aplicación de los dispositivos de potencia.

Desde que se desarrollo el primer el primer tiristor de CSR a finales de 1957, ha habido progresos importantes en los dispositivos semiconductores de potencia. Hasta 1970, los tiristores convencionales se habían utilizado únicamente para la aplicación de potencia en usos industriales. A partir de 1970 se desarrollaron varios tipos de dispositivos semiconductores de potencia, que entraron al comercio. Estos dispositivos se pueden clasificar en tres clases en forma general: 1) diodos de potencia, 2) transistores, y 3) tiristores. También se pueden dividir en general en cinco tipos: 1) diodos de potencia, 2) tiristores, 3) transistores de unión bipolar (BJT en sus siglas en ingles bipolar junction transistors), 4) transistores de

efecto de campo de óxido de metal semiconductor (MOSFET de sus siglas en ingles *metal oxide semiconductor field-effect transistors*), 5) transistores bipolares con compuerta aislada (IGBT de sus siglas en ingles *insulated-gate bipolar transistors*) y transistores de inducción estática (SIT de sus siglas en ingles *static induction transistors*).

## 1. DIODOS

### 1.1 Diodos de potencia (no controlados)



Figura 3. Símbolo del diodo.

Un diodo semiconductor es una estructura P-N que, dentro de sus límites de tensión y corriente, permite la circulación de corriente en un único sentido.

#### Características:

- Son dispositivos unidireccionales, no puede circular corriente en dirección contraria al de conducción que se hace a través de ánodo a cátodo.
- El único procedimiento de control es invertir el voltaje entre ánodo y cátodo.
- Activación sin control.
- Desactivación sin control.
- No requiere pulsos de control.

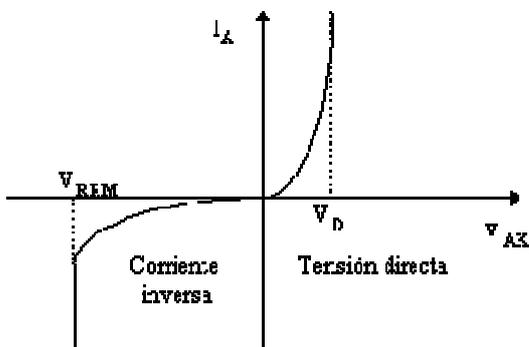


Figura 4. Curva característica del diodo real.

#### Otras características son:

- Características estáticas:

1. Parámetros en bloqueo (polarización inversa)
  2. Parámetros en conducción
  3. Modelo estático
- Características dinámicas
    1. Parámetros de encendido
    2. Parámetros de apagado
    3. Influencia del trr en la conmutación
  - Potencia
    1. Potencia máxima disipable
    2. Potencia media disipada
    3. Potencia inversa de pico repetitivo
    4. Potencia inversa de pico no repetitivo

#### Modelos estáticos

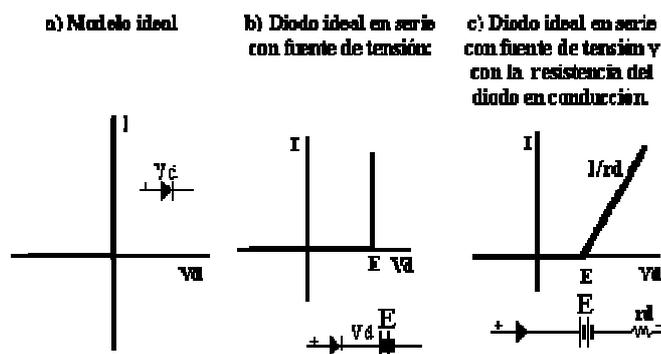


Figura 5. Modelos estáticos del diodo.

## 2. TIRISTORES

El nombre de Tiristor proviene de la palabra griega "ηθυρα", que significa "una puerta". El tiristor engloba una familia de dispositivos semiconductores que trabajan en conmutación, teniendo en común una estructura de cuatro capas semiconductoras en una secuencia P-N-P-N, la cual presenta un funcionamiento biestable (dos estados estables).

La conmutación desde el estado de bloqueo ("OFF") al estado de conducción ("ON") se realiza normalmente por una señal de control externa. La conmutación desde el estado "ON" al estado "OFF" se produce cuando la corriente por el tiristor es más pequeña que un determinado valor, denominada corriente

de mantenimiento, (“holding current”), específica para cada tiristor.

## 2.1 SCR (Rectificador Controlado de Silicio)

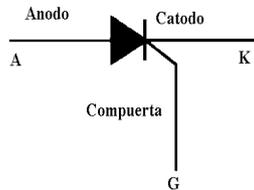


Figura 6. Símbolo SCR

Características:

- Activación controlada
- Desactivación sin control
- Maneja corrientes unidireccionales
- Requiere de un pulso de control

En régimen estático, dependiendo de la tensión aplicada entre ánodo y cátodo podemos distinguir tres regiones de funcionamiento:

**A. Zona de bloqueo inverso ( $v_{AK} < 0$ ):** Ésta condición corresponde al estado de no conducción en inversa, comportándose como un diodo.

**B. Zona de bloqueo directo ( $v_{AK} > 0$  sin disparo):** El SCR se comporta como un circuito abierto hasta alcanzar la tensión de ruptura directa.

**C. Zona de conducción ( $v_{AK} > 0$  con disparo):** El SCR se comporta como un interruptor cerrado, si una vez ha ocurrido el disparo, por el dispositivo circula una corriente superior a la de enclavamiento. Una vez en conducción, se mantendrá en dicho estado si el valor de la corriente ánodo cátodo es superior a la corriente de mantenimiento.

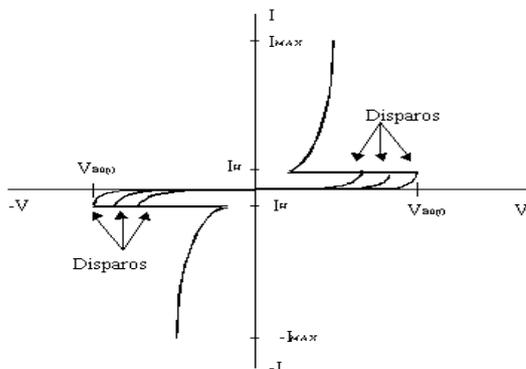


Figura 7. Curva característica de disparo del SCR

## 2.2 TRIAC

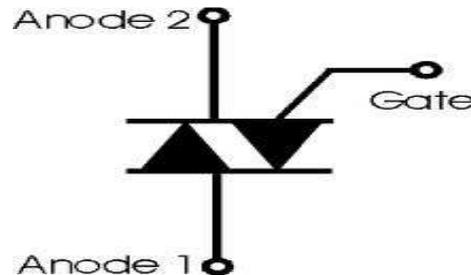


Figura 8. Símbolo del TRIAC

(“Triode of Alternating Current”) es un tiristor bidireccional de tres terminales. Permite el paso de corriente del terminal A1 al A2 y viceversa, y puede ser disparado con tensiones de puerta de ambos signos.

Cuando se trabaja con corriente alterna, es interesante poder controlar los dos sentidos de circulación de la corriente. Evidentemente, con un SCR, sólo podemos controlar el paso de corriente en un sentido. Por tanto uno de los motivos por el cual los fabricantes de semiconductores han diseñado el TRIAC ha sido para evitar este inconveniente. Simplificando su funcionamiento, podemos decir que un TRIAC se comporta como dos SCR en anti paralelo (tiristor bidireccional). De esta forma, tenemos control en ambos sentidos de la circulación de corriente.

Características:

- Activación controlada
- Desactivación sin control
- Corrientes bidireccionales
- Pulso de control

Una de las ventajas de este dispositivo es que es muy compacto, requiriendo únicamente un único circuito de control, dado que sólo dispone de un terminal de puerta. Sin embargo, tal y como está fabricado, es un dispositivo con una capacidad de control de potencia muy reducida. En general está pensado para aplicaciones de pequeña potencia, con tensiones que no superan los 1000V y corrientes máximas de 15A. Es usual el empleo de TRIAC en la fabricación de electrodomésticos con control electrónico de velocidad de motores y aplicaciones de iluminación, con potencias que no superan

los 15kW. La frecuencia máxima a la que pueden trabajar es también reducida, normalmente los 50-60Hz de la red monofásica.

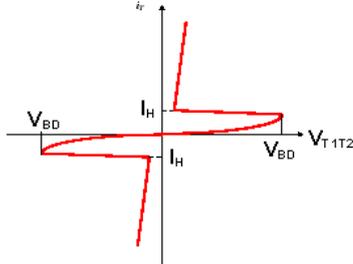


Figura 9. Curva de disparo del TRIAC

### 2.3 GTO (“Gate Turn-Off Thyristor”)

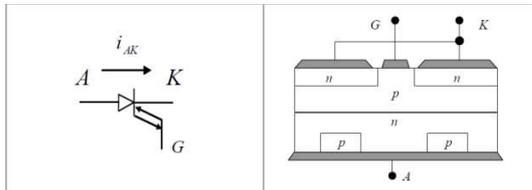


Figura 10. Símbolo del GTO.

El GTO es un tiristor con capacidad externa de bloqueo. La puerta permite controlar las dos transiciones: paso de bloqueo a conducción y viceversa.

#### Características:

- Activación controlada
- Desactivación controlada
- Corrientes unidireccionales
- Requiere de pulsos de control
- La compuerta soporta voltajes bipolares y unipolares

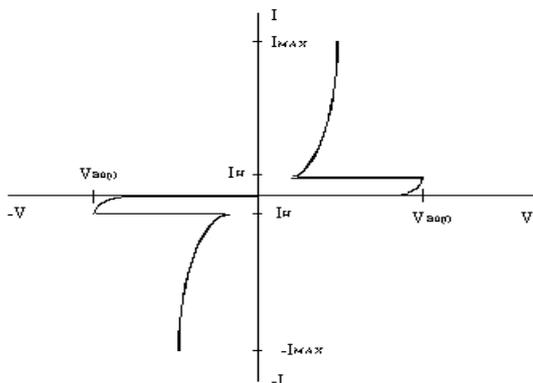


Figura 11. Curva de disparo del GTO.

El mecanismo de disparo es parecido al del SCR: suponiendo que está directamente polarizado, cuando se le inyecta corriente a la puerta, circula corriente entre puerta y cátodo.

Como la capa de la puerta es suficientemente fina, gran parte de los portadores se mueven hasta la capa N adyacente, atravesando la barrera de potencial y siendo atraídos por el potencial del ánodo, dando inicio a la corriente anódica. Si ésta corriente se mantiene por encima de la corriente de mantenimiento, el dispositivo no necesita de la señal de puerta para mantenerse en conducción.

El funcionamiento como GTO depende, por ejemplo, de factores como:

Facilidad de extracción de portadores por el terminal de puerta – esto es posible debido al uso de impurezas con alta movilidad.

- Rápida desaparición de portadores en las capas centrales – uso de impurezas con bajo tiempo de recombinación. Esto indica que un GTO tiene una mayor caída de tensión en conducción, comparado a un SCR de dimensiones iguales.
- Soportar tensión inversa en la unión puerta-cátodo, sin entrar en avalanche – menor dopado en la región del cátodo.
- Absorción de portadores de toda la superficie conductora – región de puerta-cátodo con gran área de contacto.

### 3. TRANSISTORES

En Electrónica de Potencia, los transistores generalmente son utilizados como interruptores. Los circuitos de excitación (disparo) de los transistores se diseñan para que éstos trabajen en la zona de saturación (conducción) o en la zona de corte (bloqueo). Esto difiere de lo que ocurre con otras aplicaciones de los transistores, como por ejemplo, un circuito amplificador, en el que el transistor trabaja en la zona activa o lineal.

Los transistores tienen la ventaja de que son totalmente controlados, mientras que, por ejemplo, el SCR o el TRIAC sólo dispone de control de la puerta en conducción. Los tipos de transistores utilizados en los circuitos electrónicos de potencia incluyen los transistores BJT, los MOSFET y dispositivos

híbridos, como por ejemplo, los transistores de unión bipolar de puerta aislada (IGBT). A continuación veremos cada uno de ellos.

### 3.1 Transistor Bipolar de Potencia (TBP)

Más conocidos como BJTs ("Bipolar Junction Transistors"), básicamente se trata de interruptores de potencia controlados por corriente. Como el lector recordará existen dos tipos fundamentales, los "nnp" y los "pnp", si bien en Electrónica de Potencia los más usuales y utilizados son los primeros.

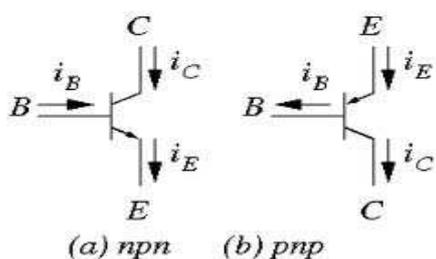


Figura 12. Símbolo del BJT NPN y PNP

#### Características:

- Activación controlada
- Desactivación controlada
- Maneja corrientes unidireccionales
- Requiere de un pulso sostenido de control
- Capacidad de soportar voltajes bipolares
- Su capacidad interna de operación es de baja frecuencia
- Maneja altas potencias
- El pulso de control se genera a partir del control por corriente y voltaje.

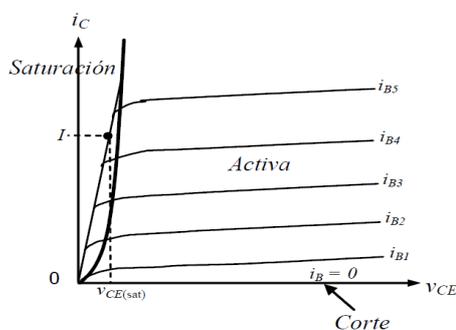
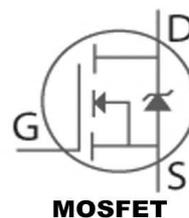


Figura 13. Gráfica de operación del BJT

En Electrónica de Potencia, obviamente, interesa trabajar en la zona de corte y en la zona de saturación, dado que en la zona activa se disipa mucha potencia y en consecuencia el rendimiento del sistema puede llegar a ser muy pequeño. Además téngase en cuenta que dado que en Electrónica de Potencia se trabaja con tensiones y corrientes elevadas, esa disipación de potencia debe evacuarse de algún modo, o de lo contrario podemos llegar a destruir el semiconductor por una excesiva temperatura en su interior.

### 3.2 MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistors)

Así como podemos decir que el transistor bipolar se controla por corriente, los MOSFET son transistores controlados por tensión. Ello se debe al aislamiento (óxido de Silicio) de la puerta respecto al resto del dispositivo. Existen dos tipos básicos de MOSFET, los de canal *n* y los de canal *p*, si bien en Electrónica de Potencia los más comunes son los primeros, por presentar menores pérdidas y mayor velocidad de conmutación, debido a la mayor movilidad de los electrones con relación a los agujeros.

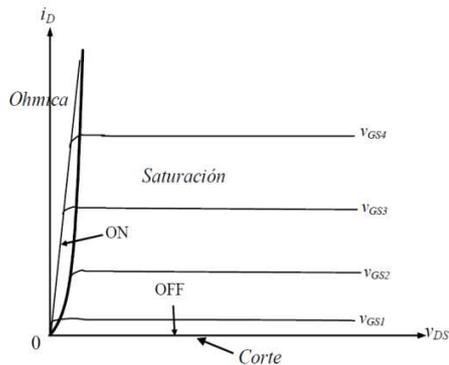


MOSFET  
Metal Oxide Semiconductor  
Field-Effect Transistor

Figura 14. Símbolo del MOSFET

#### Características:

- Activación controlada
- Desactivación controlada
- Corrientes unidireccionales
- Capacidad de manejo de voltajes bipolares
- Operación a altísima frecuencia
- Soporta bajas potencias
- Controlado por voltaje con corriente cero (0)



**Figura 15.** Gráfica de operación del MOSFET.

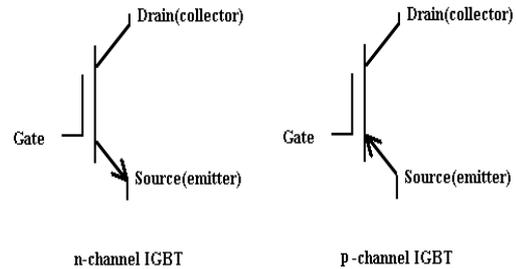
En electrónica de Potencia nos interesa que un MOSFET trabaje en corte o en óhmica (interruptor abierto o cerrado).

Uno de los inconvenientes de los transistores MOSFET es que la potencia que pueden manejar es bastante reducida.

Para grandes potencias es inviable el uso de estos dispositivos, en general, por la limitación de tensión. Sin embargo, son los transistores más rápidos que existen, con lo cual se utilizan en aplicaciones donde es necesario altas velocidades de conmutación (se pueden llegar a tener aplicaciones que trabajan a 1MHz, algo impensable para los bipolares).

### 3.3 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

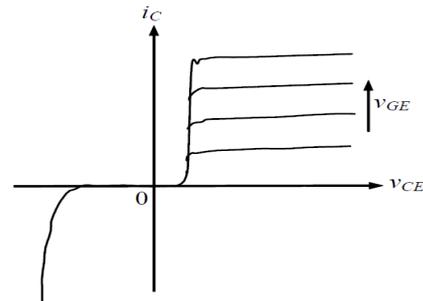
El transistor IGBT, de las siglas en inglés "Isolated Gate Bipolar Transistor", es un dispositivo híbrido, que aprovecha las ventajas de los transistores descritos en los apartados anteriores, o sea, el IGBT reúne la facilidad de disparo de los MOSFET con las pequeñas pérdidas en conducción de los BJT de potencia. La puerta está aislada del dispositivo, con lo que se tiene un control por tensión relativamente sencillo. Entre el colector y el emisor se tiene un comportamiento tipo bipolar, con lo que el interruptor es muy cercano a lo ideal.



**Figura 16.** Símbolos del IGBT

#### Características:

- Activación controlada
- Desactivación controlada
- Corrientes unidireccionales
- Operaciones a altas frecuencias
- Soporta altas potencias
- Controlado por voltajes
- Maneja voltajes bipolares



**Figura 17.** Gráfica de operación del IGBT.

#### CONCLUSIÓN

La realización de este trabajo o informe nos permite concluir que, la electrónica de potencia es el sistema por el cual la electrónica se especifica en sistemas de potencia para la implementación de procesos industriales y de esta manera ayudar al hombre en sus labores facilitándole el trabajo y mejorándole las condiciones de vida.

Además nos permitió comprender y analizar cada uno de los componentes o elementos de potencia más utilizados haciéndoles un estudio detallado para mirar su comportamiento y su forma física y de esta

manera comprender su uso en determinados procesos, por otro lado cabe recordar que los elementos semiconductores de potencia son elementos que permiten convertir señales bajas y ampliarlos de manera sorprendente y así utilizarlos en la industria. También vale la pena concluir que estos dispositivos nombrados anteriormente se pueden añadir unos con otros para buscarles distintas formas de procesos que trabajando operacionalmente juntos logran hacer trabajos de manera muy practica y sencilla.

#### **REFERENCIAS:**

[1] "Power Electronics: Converters, Applications and Design", Mohan, Undeland y Robbins, John Wiley & Sons, 2ª Ed, Nueva York, 1995.

[2] "Electrónica de Potencia", J. A. Pomilio, Universidad de Estadual de Campinas, SP - Brasil.

[3] "Electrónica de Potencia", D. W. Hart, Valparaíso University, Valparaíso Indiana. Prentice Hall.

[4] "Electrónica de potencia circuitos dispositivos y aplicaciones" Muhammad H. Rashid. *Electrical and Computer Engineering University of West Florida, tercera edición.* México. Pearson, Prentice Hall.

#### **Autor:**

Jeisson Julián Saavedra García  
C.C 1.095'812.543  
Cód. 2116012



Graduado como bachiller técnico en el año de 2009 en la institución educativa José María Vargas Vila, actualmente cursa el quinto semestre de la carrera INGENIERÍA ELECTRÓNICA en la universitaria de investigación y desarrollo UDÍ, en la ciudad de Barrancabermeja-Santander.