

Parámetros de los Semiconductores de Potencia

José Sarango Chamba

Resumen—En el presente trabajo vamos a realizar una descripción breve de los semiconductores de potencia buscando introducir y tener una idea básica de los parámetros y aspectos más importantes de los dispositivos semiconductores de potencia. Se indica como están conformados, que valores definen cada uno de los componentes y además como se clasifican. A su vez se pretende abarcar lo más importante aspectos de estos dispositivos semiconductores que son la base de la Electrónica de Potencia.

Index Terms—Dopado, Polarización, Semiconductores.

I. INTRODUCCIÓN

Según el paso del tiempo la tecnología de los dispositivos semiconductores tiene un rápido avance convirtiéndolos en dispositivos eficientes, fiables y más económicos. Su presencia se la encuentra en todos lados, ya sea en industria, comercio, o cualquier elemento de nuevas tecnologías. Dentro de los dispositivos electrónicos de potencia más conocidos podemos mencionar los diodos y transistores de potencia, el tiristor, así como otros elementos derivados de éstos como pueden ser triac, diac, conmutador unilateral, transistor uniunión, el transistor uniunión programable y el diodo Shockley.

II. SEMICONDUCTOR

Como un conocimiento general comenzaremos definiendo a un semiconductor.

Un semiconductor es un componente que puede tener dos estados como un conductor de corriente, pero también como un aislante. En un conductor la corriente es debida al movimiento de las cargas negativas (electrones). En los semiconductores se producen corrientes producidas por el movimiento de electrones como de las cargas positivas (huecos). Los semiconductores son aquellos elementos pertenecientes al grupo IV de la Tabla Periódica (Silicio, Germanio, etc. Generalmente a estos se le introducen átomos de otros elementos, denominados impurezas, de forma que la corriente se deba primordialmente a los electrones o a los huecos, dependiendo de la impureza introducida. Otra característica que los diferencia se refiere a su resistividad, estando ésta comprendida entre la de los metales y la de los aislantes.

III. CARACTERÍSTICAS

Las características esenciales que define un dispositivo semiconductor de potencia las podemos resumir en los siguientes puntos:

- Tener dos estados claramente definidos, uno de alta impedancia (bloqueo) y otro de baja impedancia (conducción).
- Poder controlar el paso de un estado a otro con facilidad y pequeña potencia.
- Ser capaces de soportar grandes intensidades y altas tensiones cuando está en estado de bloqueo, con pequeñas

caídas de tensión entre sus electrodos, cuando está en estado de conducción. Ambas condiciones lo capacitan para controlar grandes potencias.

- Rapidez de funcionamiento para pasar de un estado a otro.

IV. VALORES QUE DEFINEN UN COMPONENTE

Para poder definir un dispositivo semiconductor de potencia debemos conocer los siguientes términos:

- *Tensión inversa*: es la tensión que el dispositivo puede bloquear sin sufrir ningún daño ni modificación.
- *Tensión directa*: es la caída de tensión cuando el dispositivo se encuentra en estado conducción.

Y otros términos más como son la potencia máxima, temperatura máxima de la unión etc.

V. CLASIFICACIÓN

Podemos dividir a los semiconductores en 3 bloques básicos:

V-A. Semiconductores de Potencia

Soportan tensiones e intensidades elevadas dependiente del dispositivo. Su uso está presente en la industria por ejemplo para control de motores asíncronos, caldeo inductivo, rectificadores.

V-B. Módulos de potencia

Soportan menos tensión, entre sus principales aplicaciones están soldadura al arco sistema de alimentación ininterrumpida (SAI), control de motores.

V-C. Semiconductores de baja potencia

El nivel de intensidad de corriente que soportan es relativamente bajo en comparación de los dos grupos mencionados anteriormente, entre sus principales aplicaciones están control de motores, aplicaciones domésticas, control de iluminación.

VI. PRINCIPALES DISPOSITIVOS DE POTENCIA

VI-A. Diodos

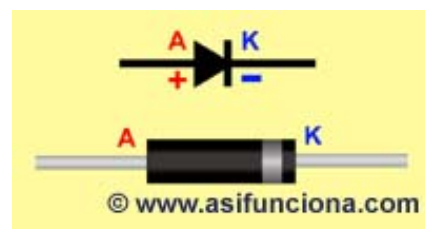


Figura 1. Diodo

Entre los principales dispositivos de potencia se puede mencionar al diodo que son dispositivos unidireccionales, no pudiendo circular la corriente en sentido contrario al de conducción. Los diodos de potencia se caracterizan porque en estado de conducción, deben ser capaces de soportar una alta intensidad con una pequeña caída de tensión. En sentido inverso, deben ser capaces de soportar una fuerte tensión negativa de ánodo con una pequeña intensidad de fugas.

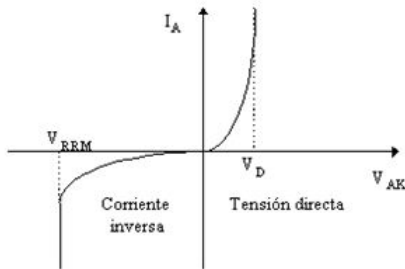


Figura 2. Curva característica del diodo

VII. CARACTERÍSTICAS DEL DIODO

Las características más importantes que podemos mencionar del diodo se pueden agrupar de la siguiente forma:

VII-A. Características Estáticas

VII-A1. Parámetros en Conducción: Además, en los diodos de silicio normalmente se produce una caída de tensión en la barrera de la juntura que oscila entre los 0,6 y los 0,8 V dependiendo de la temperatura y de la concentración de impurezas en la unión.

Los valores de corrientes a considerar son:

- **Intensidad media nominal ($I_F(AV)$):** es el valor medio de la máxima intensidad de impulsos sinusoidales de 180° que el diodo puede soportar.
- **Intensidad de pico repetitivo (I_{FRM}):** es aquella que puede ser soportada cada 20 mseg, con una duración de pico a 1 mseg, a una determinada temperatura de la cápsula (normalmente 25 °C).
- **Intensidad directa de pico no repetitiva (I_{FSM}):** es el máximo pico de intensidad aplicable, una vez cada 10 minutos, con una duración de 10 mseg. Su valor es importante en el caso de corrientes de conexión, por ejemplo debidas a la maniobra de capacitores.
- **Intensidad directa (I_F):** es la corriente que circula por el diodo cuando se encuentra en el estado de conducción.

VII-A2. Parámetros en bloqueo: Cuando se aplica una tensión inversa "moderada" a un rectificador de silicio, a través del mismo fluye una pequeña corriente de fuga. A medida que la tensión inversa se va incrementando la corriente de fuga crece lentamente, hasta que en determinado valor se produce un aumento muy brusco de la corriente de fuga, que en los diodos de potencia da lugar a un embalamiento térmico que puede destruir al semiconductor. A esta tensión se la llama también tensión de ruptura, de avalancha o de Zener.

Los valores de tensiones a considerar son:

- **Tensión inversa de pico de trabajo (V_{RWM}):** es la que puede ser soportada por el dispositivo de forma continuada, sin peligro de entrar en ruptura por avalancha.
- **Tensión inversa de pico repetitivo (V_{RRM}):** es la que puede ser soportada en picos de 1 mseg, repetidos cada 10 mseg de forma continuada.
- **Tensión inversa de pico no repetitiva (V_{RSM}):** es aquella que puede ser soportada una sola vez durante 10 mseg cada 10 minutos o más.
- **Tensión de ruptura (V_{BR}):** si se alcanza, aunque sea una sola vez, durante 10 mseg el diodo puede destruirse o degradar las características del mismo.
- **Tensión inversa continua (V_R):** es la tensión continua que soporta el diodo en estado de bloqueo.

A continuación se muestra una gráfica que abarca todos los términos mencionados

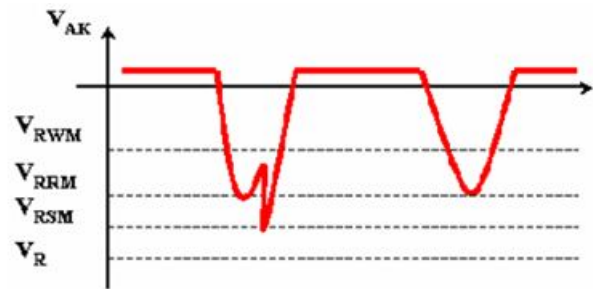


Figura 3. Tensión en el diodo

VII-A3. modelos estáticos del diodo: Los distintos modelos del diodo son:

- **Modelo ideal:** resistencia cero en el sentido directo e infinita en el sentido inverso (diodo ideal).
- **Modelo ideal con fuente de tensión:** diodo ideal en serie con una fuente de tensión de valor igual a la tensión de barrera de la unión o juntura.
- **Modelo ideal con fuente de tensión y resistencia:** diodo ideal en serie con una fuente de tensión de valor igual a la tensión de barrera y con una resistencia igual a la del diodo en conducción.

Estos modelos facilitan los cálculos a realizar, para lo cual debemos escoger el modelo adecuado según el nivel de precisión que necesitamos.

VII-B. Características dinámicas

En el estudio de estos dispositivos de potencia hay que dar un cuidado extra a los estado transitorios provocados por la conmutación, hay que tener en cuenta las características dinámicas, dado que los dispositivos no son ideales, se requiere un tiempo, para conseguir el paso de corte a conducción, t_{on} y de conducción a corte, t_{off} .

VII-B1. Tiempo de conmutación a corte (turn off): Cuando un diodo se encuentra conduciendo una intensidad, I_d la zona central de la unión p-n está saturada de portadores mayoritarios con tanta mayor densidad de éstos cuanto mayor sea dicha intensidad. Si el circuito exterior fuerza la disminución de la corriente con una cierta velocidad, di/dt aplicando una tensión

inversa, resultará que después del paso por cero de la señal $i(t)$, hay un periodo en el cual cierta cantidad de portadores cambian su sentido de movimiento y permiten que el diodo conduzca en sentido contrario. La tensión inversa entre ánodo y cátodo no se establece hasta después de un tiempo, t_s durante el cual los portadores empiezan a escasear y aparece en la unión una zona de carga espacial. La intensidad todavía tarda un tiempo t_f en pasar de un valor de pico negativo I_{rr} a un valor prácticamente nulo, mientras se va descargando la capacidad interna de la unión.

VII-B2. Tiempo de corte a conducción (turn on): Por ser prácticamente despreciables los efectos provocados por el tiempo de recuperación directa, indicar solamente que se conoce como Turn on, al tiempo que transcurre entre el instante en que la tensión entre el ánodo y cátodo se hace positiva y en el que dicha tensión alcanza el valor normal de conducción. Es decir el tiempo de paso de corte a conducción.

VII-B3. Tiempo de recuperación inverso: El paso del estado de conducción al de bloqueo en el diodo no se efectúa instantáneamente. Si un diodo se encuentra conduciendo una intensidad I_F , la zona central de la unión P-N está saturada de portadores mayoritarios con tanta mayor densidad de éstos cuanto mayor sea I_F . Si mediante la aplicación de una tensión inversa forzamos la anulación de la corriente con cierta velocidad di/dt , resultará que después del paso por cero de la corriente existe cierta cantidad de portadores que cambian su sentido de movimiento y permiten que el diodo conduzca en sentido contrario durante un instante, dando lugar a una pequeña corriente inversa de recuperación. La tensión inversa entre ánodo y cátodo no se establece hasta después del tiempo t_a llamado tiempo de almacenamiento, en el que los portadores empiezan a escasear y aparece en la unión la zona de carga espacial. La intensidad todavía tarda un tiempo t_b (llamado tiempo de caída) en pasar de un valor de pico negativo (I_{RRM}) a un valor despreciable mientras van desapareciendo el exceso de portadores. Entonces:

- **Tiempo de almacenamiento (t_a):** es el tiempo que transcurre desde el paso por cero de la intensidad hasta llegar al pico negativo.
- **Tiempo de caída (t_b):** es el tiempo transcurrido desde el pico negativo de intensidad hasta que ésta se anula, y es debido a la descarga de la capacidad de la unión polarizada en inverso. En la práctica se suele medir desde el valor de pico negativo de la intensidad hasta el 10 % de éste.
- **Tiempo de recuperación inverso (t_{rr}):** es la suma de t_a y t_b .

La relación entre t_b/t_a es conocida como factor de suavizado "SF".

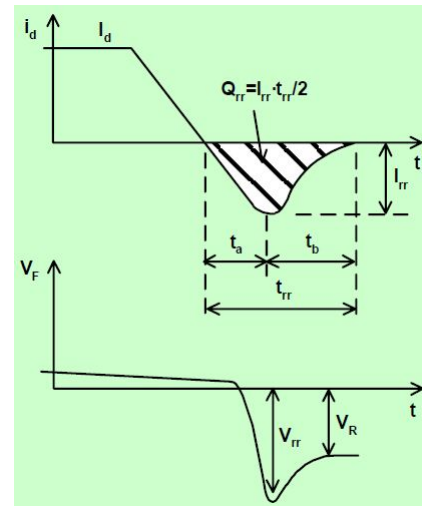


Figura 4. Tiempo de recuperación inversa

VII-B4. Influencia del t_{rr} en la conmutación: Si el tiempo que tarda el diodo en conmutar no es despreciable:

Se limita la frecuencia de funcionamiento, pues a altas frecuencias disminuye abruptamente el rendimiento de la rectificación.

Existe una disipación de potencia durante el tiempo de recuperación inversa, que puede llegar a producir sobrecalentamiento y destrucción del diodo.

Para altas frecuencias, por lo tanto, debemos usar diodos de recuperación rápida.

A mayor I_{RRM} menor t_{rr} .

Cuanta mayor sea la intensidad principal que atraviesa el diodo mayor será la carga almacenada, y por tanto mayor será t_{rr} .

VII-B5. Tiempo de recuperación directa: El tiempo de recuperación directo (t_{fr}): es el tiempo que transcurre entre el instante en que la tensión ánodo-cátodo se hace positiva y el instante en que dicha tensión se estabiliza en el valor V_F .

Este tiempo es bastante menor que el de recuperación inversa y no suele producir pérdidas de potencia apreciables.

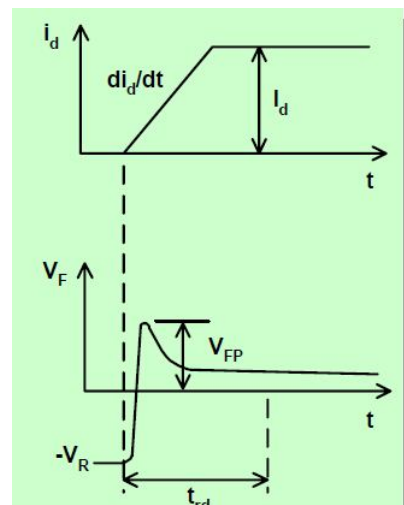


Figura 5. Tiempo de Recuperación directa

VII-C. Potencia

VII-C1. Potencia máxima disipable: Es un valor de potencia que el dispositivo puede disipar, pero no debemos confundirlo con la potencia que disipa el diodo durante el funcionamiento, llamada ésta potencia de trabajo.

VII-C2. Potencia media disipable: Es la disipación de potencia resultante cuando el dispositivo se encuentra en estado de conducción, si se desprecia la potencia disipada debida a la corriente de fugas.

Generalmente el fabricante incluye tablas en las hojas de características, que indican la potencia disipada por el elemento para una intensidad conocida.

Otro dato que puede dar el fabricante son las curvas que relacionan la potencia media con la intensidad media y el factor de forma (ya que el factor de forma es la intensidad eficaz dividida entre la intensidad media).

VII-C3. Potencia inversa de pico repetitivo (PRRM): Es la máxima potencia que puede disipar el dispositivo en estado de bloqueo.

VII-C4. Potencia inversa de pico no repetitivo (PRSM): Similar a la anterior, pero dada para un pulso único

VII-D. Características térmicas

VII-D1. Temperatura de la unión ($T_{j\text{máx}}$): Es el límite superior de temperatura que nunca debemos hacer sobrepasar a la unión o juntura del dispositivo si queremos evitar su inmediata destrucción. En ocasiones, en lugar de la temperatura de la unión se nos da la "operating temperature range" (margen de temperatura de funcionamiento), que significa que el dispositivo se ha fabricado para funcionar en un intervalo de temperaturas comprendidas entre dos valores, uno mínimo y otro máximo.

VII-D2. Temperatura de almacenamiento (T_{stg}): Es la temperatura a la que se encuentra el dispositivo cuando no se le aplica ninguna potencia. El fabricante suele dar un margen de valores para esta temperatura.

VII-D3. Resistencia térmica unión-contenedor (R_{thjc}): Es la resistencia entre la unión del semiconductor y el encapsulado del dispositivo. En caso de no dar este dato el fabricante, se puede calcular mediante la fórmula:

$$R_{thjc} = (T_{j\text{máx}} - T_c) / P_{\text{máx}}$$

Donde T_c es la temperatura del contenedor y $P_{\text{máx}}$ la potencia máxima disipable.

VII-D4. Resistencia térmica contenedor-disipador (R_{thcd}): Es la resistencia existente entre el contenedor del dispositivo y el disipador (aleta refrigerante). Se supone que la propagación se efectúa directamente sin pasar por otro medio (como mica aislante, etc).

VIII. TRANSISTOR

El transistor bipolar es conocido como un elemento amplificador de señal. En el contexto de los componentes electrónicos de Potencia, es usado como un dispositivo de conmutación, ya que, dispone de las características que lo convierten en un conmutador casi ideal. A diferencia del transistor bipolar normal, en el cual, la zona de trabajo más importante es la lineal, en el transistor de potencia los estados más importantes

de funcionamiento son saturación y corte. Estos dos estados se corresponden con los estados cerrado y abierto del conmutador ideal.

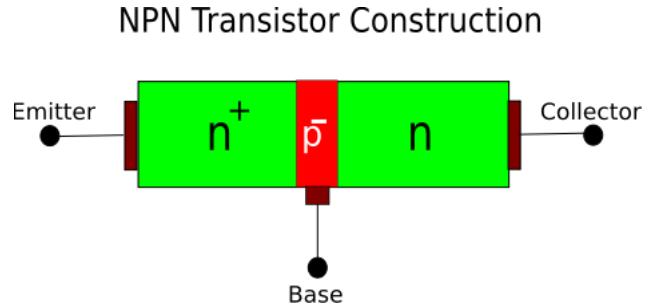


Figura 6. Transistor

Los transistores bipolares de alta potencia se utilizan fundamentalmente para trabajar con frecuencias por debajo de 10KHz y en aplicaciones que requieran 1.200 V y 400 A como máximo.

Entre las características principales de los transistores podemos mencionar las siguientes:

- IC = Intensidad máxima que puede circular por el Colector
- VCE0 = Tensión de ruptura de colector con base abierta, (máxima tensión C-E que se puede aplicar)
- Frecuencia de corte
- VCBO = Tensión de ruptura colector - base con base abierta
- VEBO = Tensión de ruptura emisor - base con base abierta
- VCEOSUS = Tensión de ruptura por un aumento excesivo de la corriente de colector y de la tensión C - E
- VCEO = Tensión de ruptura colector - emisor, con base abierta.
- VCER = Tensión colector - emisor con resistencia de base especificada.
- VCEX = Tensión colector - emisor con circuito especificado entre base - emisor.
- VCES = Tensión colector - emisor con unión base - emisor cortocircuitada

IX. TIRISTOR

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.

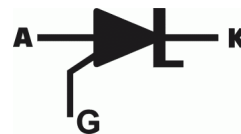


Figura 7. Tiristor

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-PN, la cual presenta un funcionamiento biestable (dos estados estables). La conmutación desde el estado de loqueo (“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.

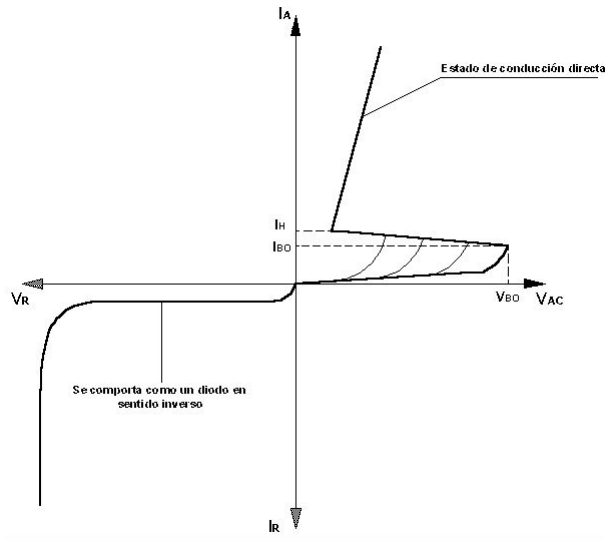


Figura 8. Curva característica del tiristor

Dentro de la familia de los tiristores los elementos mas comunes son el Diodo Shockley, SCR (Silicon Controlled Rectifier), GCS (Gate Controlled Switch), SCS (Silicon Controlled Switch), Diac y Triac.

- **SCR (Rectificador Controlado de Silicio):** El SCR es uno de los dispositivos más antiguos que se conocen dentro de la Electrónica de Potencia (data de finales de los años 50). Además, continua siendo el dispositivo que tiene mayor capacidad para controlar potencia (es el dispositivo que permite soportar mayores tensiones inversas entre sus terminales y mayor circulación de corriente). El SCR está formado por cuatro capas semiconductoras, alternadamente P-N-P-N, Si entre ánodo y cátodo tenemos una tensión positiva, las uniones J1 y J3 estarán directamente polarizadas, en cuanto que la unión J2 estará inversamente polarizada. No habrá conducción de corriente hasta que la tensión VAK aumente hasta un valor que provoque la ruptura de la barrera de potencial en J2.
- **TRIAC:** 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.

- **GTO (“Gate Turn-Off Thyristor”):** A pesar de que el GTO fue inventado en el inicio de la década de los años 60, ha sido poco empleado debido a sus reducidas prestaciones. Con el avance de la tecnología en el desarrollo de dispositivos semiconductores, se han encontrado nuevas soluciones para mejorar tales componentes que hacen que hoy ocupen una franja significativa dentro de la electrónica de potencia, especialmente en aquellas aplicaciones de elevada potencia, con dispositivos que alcanzan los 5000 V y los 4000 A.

X. TABLA DE PRESTACIONES

DISPOSITIVO	Tensión	Corriente	Frecuencia	Potencia
DIODOS	<10KV	<5000A	<10MHz	ALTA
TRANSISTORES	<6000V	<5000A	<500Hz	ALTA
GTOs	<6000V	<3000A	<500Hz	ALTA
TRIACs	<1000V	<25A	<500Hz	BAJA
MOSFETs	<1000V	<100A	<1MHz	BAJA
BJTs	<1200V	<700A	<25KHz	MEDIA
IGBTs	<2000V	<500A	<75KHz	M-ALTA

Cuadro I
PARÁMETROS DE LOS SEMICONDUCTORES

XI. CONCLUSIONES

- Como conclusión al presente ensayo se puede mencionar que la electrónica de potencia con el paso del tiempo ha tenido grandes cambios, y dichos cambios siguen en proceso para dar soluciones mas eficientes.
- La clasificación de los dispositivos semiconductores depende de la intensidad de corriente y tensiones, ya que es muy importante conocer las características de conducción, por que nos permite administrar debidamente los parámetros de voltaje o corriente con los que se puede trabajar, evitando que sufran algún daño los componentes electrónicos.
- Los dispositivos semiconductores, son elementos que permiten trabajar circuitos de potencia, rectificación y muchas otras aplicaciones.
- En la actualidad es muy importante el estudio de los semiconductores de potencia, ya que junto a la ingeniería de control están desarrollando el campo de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

REFERENCIAS

- [1] Sanchez Diaz. Dispositivos semiconductores de potencia. page 14, 2010.
- [2] BENAVENT GARCIA José Manuel. *Electronica de Potencia: Teoria y aplicaciones*, volume 1. 1999.
- [3] GUALDA Juan MARTINEZ Salvador. *Electronica de Potencia: componentes, topologias y equipos*, volume 1. 2006.
- [4] MUHAMMAD RASHID. *Electrónica de Potencia*, volume 1. 2004.