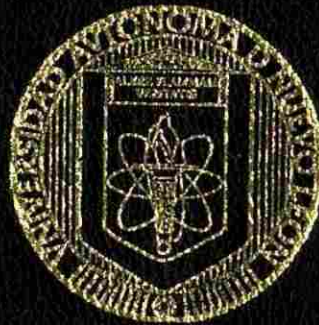


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO**



**DISEÑO DE MATERIAL DIDACTICO PARA  
ELECTRONICA INDUSTRIAL Y DE POTENCIA**

**TESIS  
EN OPCION AL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA  
ELECTRICA  
CON ESPECIALIDAD EN CONTROL**

**QUE PRESENTA  
ING. ANTONIO RODRIGUEZ GARCIA**

**CD. UNIVERSITARIA**

**DICIEMBRE DE 2000**

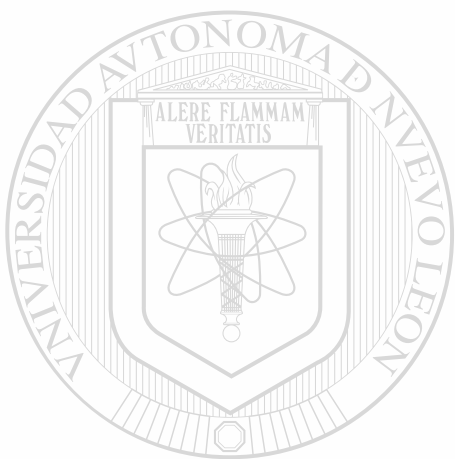
TM  
Z5853  
.M2  
FIME  
2000  
R62743

DISEÑO DE MATERIAL DIDACTICO PARA  
ELECTRONICA INDUSTRIAL Y DE POTENCIA

A. R. C.



1020136370



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

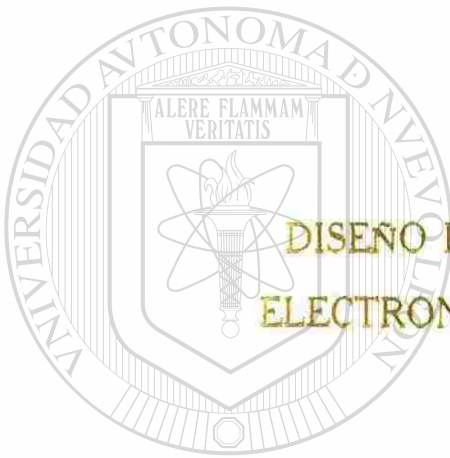
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

m

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DISEÑO DE MATERIAL DIDACTICO PARA  
ELECTRONICA INDUSTRIAL Y DE POTENCIA

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA  
ELECTRICA  
CON ESPECIALIDAD EN CONTROL

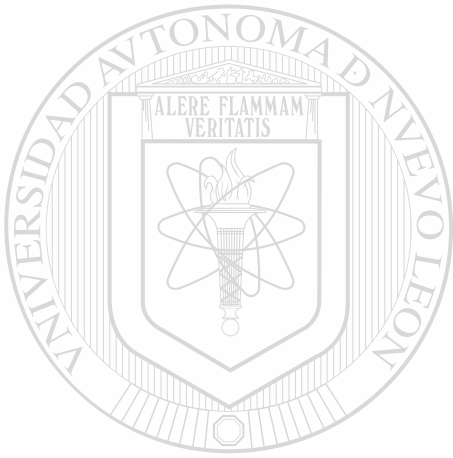
QUE PRESENTA  
ING. ANTONIO RODRIGUEZ GARCIA

CD. UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 2000

0140-84660

TH  
Z 5853  
•M2  
FINE  
2000  
R62743



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

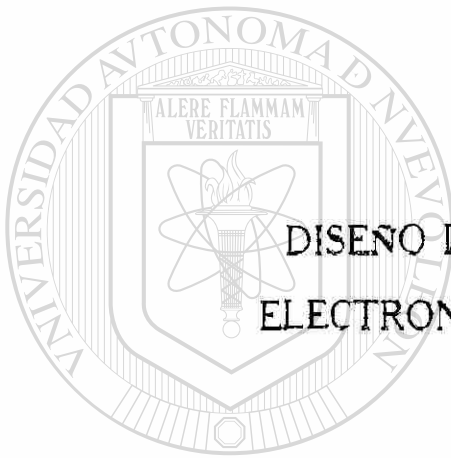


**FONDO  
TESIS**

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



DISEÑO DE MATERIAL DIDACTICO PARA  
ELECTRONICA INDUSTRIAL Y DE POTENCIA

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA  
ELECTRICA  
CON ESPECIALIDAD EN CONTROL

QUE PRESENTA  
ING. ANTONIO RODRIGUEZ GARCIA

C.C. UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 2000



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

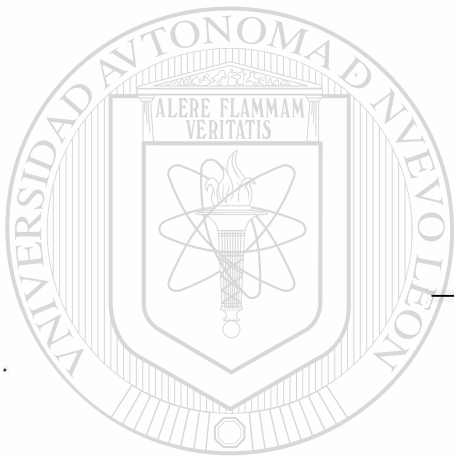
FONDO  
TESIS

®



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis “**Diseño de material didáctico para Electrónica Industrial y de Potencia**”, realizada por el Ingeniero Antonio Rodríguez García, matrícula 1041166 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Control.



El Comité de Tesis

Asesor  
**M. C. Guadalupe Cantú Garza**

Coasesor  
**M. C. Sergio Martínez Luna**

Coasesor  
**M. C. Leopoldo Rene Villarreal Jiménez**

Vó.Bo.  
**M. C. Roberto Villarreal Garza**  
División de Estudios de Post-grado

San Nicolás de los Garza, N.L. Diciembre del 2000

## PRÓLOGO

El presente estudio bibliográfico y de campo, se pone a disposición para facilitar el trabajo docente, ya que es una herramienta de ayuda a la que pueden recurrir maestros de recién ingreso o las personas que no disponen de fuentes de información para documentarse en: tareas, proyectos, presentaciones, revistas, direcciones, simulaciones, etcétera, en el área de la Electrónica de Potencia.

En el capítulo uno, primero se realiza un planteamiento del problema a resolver y los procedimientos a seguir, para después pasar al capítulo dos, donde se presenta un condensado de las transparencias en que nos apoyaremos para cubrir los temas del curso, en el que se anexan conforme se avanza las consideraciones de cálculo, así como problemas resueltos para que se disponga en clase de un tiempo mayor para contestar las dudas que se presenten. En el capítulo tres, analizamos las aplicaciones típicas de la electrónica de potencia, en la que como son: pulsadores, interruptores estáticos, inversores del tipo PWM, fuentes de poder y propulsores de corriente alterna o directa, aunque este último tema se analizará en forma muy completa en la siguiente clase seriada que corresponde a Control Electrónico de Motores. En el capítulo cuatro se presenta el material que se dispondrá para clase como son: problemas y preguntas resueltos, clasificación de proyectos, suscripciones a revistas bien sea por correo o a través de Internet, circuitos típicos ya ensamblados para comprobación de cálculos, programas obtenidos para simulación de algunos circuitos para utilizar diferentes paquetes de programación tales como: Mat-Lab, Pspice o C++ y direcciones de Internet para obtener una gran cantidad de información. Toda esta información se encuentra disponible en disco compacto, además de otras documentaciones que considero serán de gran utilidad con el pequeño inconveniente de que está en inglés, ¿pero qué información actualizada no está en este idioma?.

A continuación quiero hacer patente mi agradecimiento a quienes me apoyaron de una manera u otra para llegar a concluir con este trabajo. Todas aquellas personas como son: amigos, compañeros de trabajo, familiares y sin olvidar a mis maestros que hacen tanto esfuerzo por apoyarnos.

# INDICE

<b>SÍNTESIS</b>	7
-----------------	---

## 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema	8
1.2 Objetivo de la tesis	8
1.3 Hipótesis	8
1.4 Justificando temas de tesis	8
1.5 Límites del estudio	9
1.6 Metodología a emplear	9
1.7 Revisión de bibliografía	9

## 2. MATERIAL PARA CLASES

2.1 Antecedentes	
2.1.1 Historia de la Electrónica de Potencia	12
2.1.2 Dispositivos semiconductores de potencia	13
2.1.3 Operación y aplicaciones de los dispositivos de potencia	15

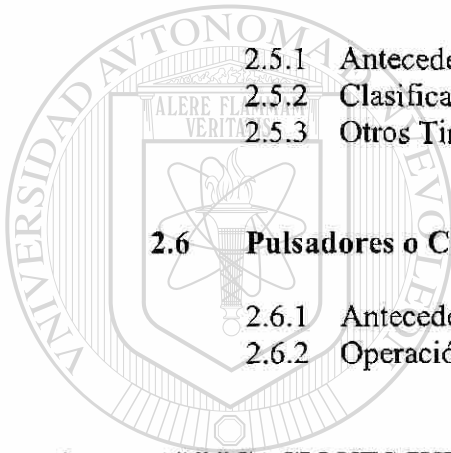
## 2.2 Diodos de potencia

2.2.1 Antecedentes	22
2.2.2 Características de los diodos	22
2.2.3 Clasificación de diodos	24
2.2.4 Diodos conectados en serie o en paralelo	27

## 2.3 Circuitos con diodos y rectificación

2.3.1 Antecedentes	30
2.3.2 Diodos con cargas RC, RL, LC y RLC	30
2.3.3 Diodos de marcha libre	36
2.3.4 Parámetros de rendimiento	37

2.3.5	Rectificadores monofásicos de onda completa	39
2.3.6	Rectificador trifásico con carga RL	40
2-3.7	Efectos de las cargas RL y filtros	41
<b>2.4</b>	<b>Tiristores y circuitos de activación</b>	
2.4.1	Antecedentes	44
2.4.2	Características	44
2.4.3	Tipos de activación y circuitos	46
2.4.4	Tiristores serie o paralelo y protecciones contra	49
2.4.5	Otros Tiristores similares al SCR	51
2.4.6	Elementos que generan una señal para activar	52
<b>2.5</b>	<b>Convertidores de fase</b>	
2.5.1	Antecedentes	56
2.5.2	Clasificación y consideraciones	56
2.5.3	Otros Tiristores y circuitos de control	60
<b>2.6</b>	<b>Pulsadores o Convertidores de CD a CD.</b>	
2.6.1	Antecedentes	63
2.6.2	Operación y clasificación	66
<b>3.</b>	<b>APLICACIONES INDUSTRIALES</b>	
<b>3.1</b>	<b>Interruptores estáticos</b>	69
<b>3.2</b>	<b>Propulsores de corriente alterna</b>	70
<b>3.3</b>	<b>Propulsores de corriente directa</b>	71
<b>3.4</b>	<b>Fuentes de poder</b>	73
<b>4.</b>	<b>MATERIAL DE APOYO</b>	
<b>4.1</b>	<b>Preguntas y Problemas resueltos</b>	74
<b>4.2</b>	<b>Direcciones investigadas en Internet</b>	149
<b>4.3</b>	<b>Simulación</b>	151



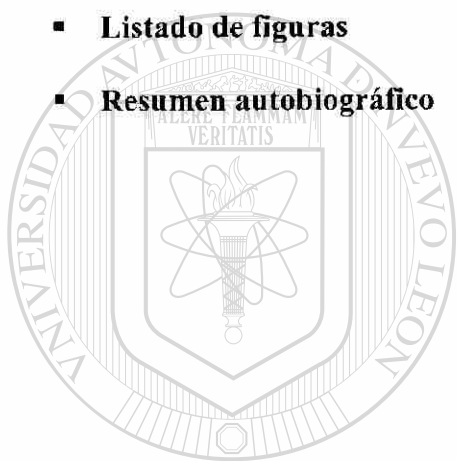
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones	167
5.2	Recomendaciones	168
▪	Bibliografía	169
▪	Listado de tablas	170
▪	Listado de figuras	171
▪	Resumen autobiográfico	181



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## SÍNTESIS

Este trabajo está destinado a estandarizar el material para la impartición de las clases de electrónica industrial y/o de potencia, debido a la gran cantidad de material existente en éstas materias.

En el capítulo 1 se da una explicación *grosso modo* de los objetivos que éste trabajo trata de cubrir, así mismo como su justificación para realizarse.

Dentro del capítulo 2 se empieza con el material que se va a utilizar para la impartición de clases, empezando con los antecedentes de la electrónica de potencia, donde nos muestra la evolución por la que ha pasado la electrónica de potencia; los diferentes tipos de dispositivos que existen, así como unas diapositivas de las mismas; la operación y aplicaciones de los dispositivos que existen y diapositivas que muestran el símbolo, el tipo de señal que genera y sus aplicaciones.

Después se profundiza más en lo que son los diodos de potencia; mostrándonos sus características y clasificación, incluyendo diapositivas y problemas propuestos, aparte de aplicaciones con diodos conectados en serie o paralelo con problemas propuestos sobre este tema.

Otro tema que se aborda dentro de este capítulo son los diodos rectificadores; aquí nos muestra a los diodos con carga, los diodos trabajando en marcha libre, los parámetros de rendimiento, la rectificación de media onda y onda completa con carga resistiva con CA y CA trifásica, los efectos de las cargas LC y filtros, con diapositivas con sus características y problemas ejemplo.

Dentro de este capítulo también se ve lo que son los Tiristores; aquí se ven las características, los tipos de activación y circuitos de activación de los SCR, en serie y paralelo y su protección entre transitorios, otros tiristores similares al SCR y elementos que generan señal para la activación de los tiristores; aquí se incluyen diapositivas de cada uno de estos temas relacionados para una mejor comprensión de este tema.

Más adelante se toma el tema de los convertidores; en este tema se ve lo que son la clasificación y consideraciones, otros tiristores y circuitos de control; en este tema se muestran diapositivas con las características de los convertidores.

El tema final del capítulo 2 son los troceadores o convertidores de CD a CD; la finalidad de estos es convertir el voltaje ya sea elevando o disminuyéndolo, y la operación y clasificación de estos, como apoyo se utilizan diapositivas de los diferentes tipos de troceadores.

En el capítulo 3 nos habla de lo que son las aplicaciones industriales, aquí encontramos los interruptores estáticos, los propulsores de corriente directa, las fuentes de poder y propulsores de corriente alterna, con diapositivas de los circuitos y sus características.

Dentro del capítulo 4 encontramos lo que es material de apoyo, que es una base de datos de problemas y preguntas, aparte de referencias bibliográficas de páginas en la internet y programas para simulación en C++, MATLAB y PSPICE.

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Problema a resolver

Diferencias en materiales de apoyo para la impartición de la cátedra, no se dispone de información y de material recopilado. Los maestros de reciente ingreso no disponen de una base de información.

### 1.2 Objetivo

La elaboración del material de apoyo para electrónica industrial y/o de potencia de diferentes tipos, como son bibliografía de libros, circuitos electrónicos y revistas, direcciones de Internet, programas para operar con software de simulación en algunos diseños de proyectos académicos.

### 1.3 Hipótesis

En la actualidad se presentan algunas diferencias en el material de apoyo utilizado para la cátedra ya sea porque no se cuenta con información o de algunos otros recursos necesarios para esto.

### 1.4 Justificación

Actualmente los instructores no disponen del mismo material de apoyo para la impartición de la cátedra en la materia electrónica de potencia y/o industrial, lo cual hace que ésta no sea uniforme en todos los grupos de clase.

Una solución a esto es el **Diseño de material didáctico para Electrónica Industrial y de Potencia**, que permitirá uniformizar los conocimientos impartidos a nuestros alumnos utilizando un mismo material de apoyo.

## 1.5 Límites

Se diseñará material didáctico para Electrónica Industrial y de Potencia, listado de programas de software, diseño de circuitos electrónicos, listado de textos de consulta, suscripciones posibles de revistas de la especialidad y direcciones de Internet para consulta o investigación.

## 1.6 Metodología

La metodología que se propone llevar es:

1. Se adquirirá toda la información relacionada con el curso de electrónica industrial y/o de potencia; tal como la lista de textos de consulta de la especialidad, el software, la información de las revistas en las que se puede suscribir y las direcciones de Internet para consulta o investigaciones.
2. Se seleccionará el material adquirido, organizándolo de acuerdo al programa del curso, para posteriormente clasificarlo y adecuarlo.
3. Desarrollo y prueba de simulaciones que están consideradas dentro del programa de los cursos.
4. Desarrollo de la tesis de acuerdo a toda la información recopilada y validada.

## 1.7 Revisión Bibliográfica

El texto **tiristores y triacs**, cuenta con la información necesaria para comprender la operación y algunas aplicaciones de los triacs y los SCR, pero no cuenta con los cálculos tan detallados como en otros textos.

El texto **Electrónica Industrial Moderna** comprende gran cantidad de temas de los cuales buena parte de estos no se ven con la profundidad necesaria para un buen análisis de diseño, pero sí se cuenta con los suficientes datos para desarrollar los proyectos que plantea el texto.

El texto **Electrónica de Potencia Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones** es un buen texto y tiene buenos cálculos, y hace algunos análisis de diseño, pero casi nunca plantea un circuito completo, mas que solo a bloques y esto, considero que limita mucho la comprensión del mismo.



El texto **Introduction to Solid State Power Electronics** presenta la información de una forma muy básica pero comprensible lo cual permite un claro entendimiento de los semiconductores de potencia, su deficiencia consiste en que cuenta con pocos cálculos y circuitos de aplicación.

El texto **Motorola Thyristors Data** como su título lo indica es información de los componentes de potencia, pero también cuenta con circuitos de aplicación claramente explicados y con datos y cálculos mínimos necesarios para poder reproducir los circuitos que ahí explica.

El texto **Thyristors Product Catalog** presenta la información mínima para comprender los elementos de potencia SCR y triacs, así como algunos elementos para la activación de los dispositivos de potencia, otro de los puntos que trata este texto es la operación y manejo de equipo con procedimientos de seguridad para evitar accidentes.

El texto **Adjustable Speed Drives AC y DC** presenta la información de selección, operación, aplicación e información técnica, esta última de forma muy ordenada y completa de la manera en que funciona los controladores de los motores de CA y CD.

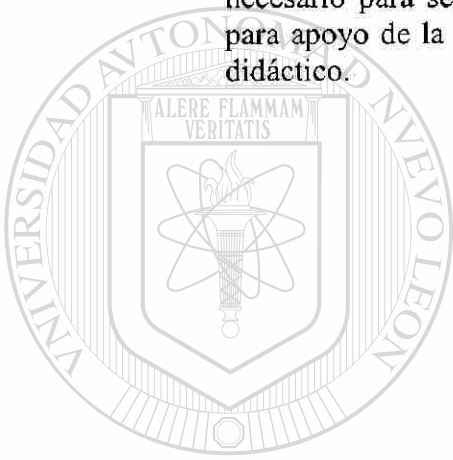
El texto **Fundamentals of Power Electronics** nos da un claro panorama de los pulsadores o troceadores o choppers o reguladores de CD y presenta un análisis muy detallado del principio de operación, su clasificación, cálculo de protecciones, cálculo de diseño y consideraciones para una buena aplicación, se considera un libro muy completo en esta área.

El texto **Integrated Solid State Devices and Circuits** plantea muy claros objetivos a cubrir para la comprensión de la electrónica de componentes, lo cual se considera que deberían tener los alumnos antes de tomar el curso de electrónica de potencia o industrial.

En el diseño del material didáctico se tomó en cuenta la información de los diferentes textos tomando las ideas del orden que debería llevar y ayudan en gran medida a comprender un poco más cada uno de los textos de la bibliografía, los cuales al inicio de esta revisión bibliográfica se explicó cada uno de sus puntos más importantes y a continuación explico en qué me ayudo cada uno de los textos:

- Tiristores y triacs me ayudo a una comprensión básica y análisis de diferentes circuitos básicos.
- Electrónica industrial moderna me permitió comprender aplicaciones básicas, cálculos básicos y desarrollo de proyectos funcionales.

- Electrónica de Potencia Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones es el libro de texto que llevamos en clase, el cual cuenta con gran cantidad de información para cálculos diversos y algunos análisis.
- Introduction to Solid State Power Electronics las ideas que se tomaron de aquí es la forma de explicar en forma sencilla y bien definida.
- Motorola Thyristors Data nos permite tener un mayor análisis en los circuitos y en las hojas de datos de los diferentes tipos de componentes.
- Thyristors Product Catalog permite hacer análisis de circuitos sencillos, pero no por ello menos importante para una buena comprensión de la electrónica de potencia.
- Adjustable Speed Drives AC y DC me permitió comprender mejor los pulsadores y todo el análisis, calculo y selección de protecciones en estos elementos para poder seleccionar el material adecuado para este trabajo.
- Fundamentals of Power Electronics este texto tiene la ventaja de disponer de lo necesario para ser utilizado como libro de consulta de maestros o de alumnos para apoyo de la clase y también tome ideas de este para el diseño del material didáctico.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 2. TEMAS DEL CURSO

### 2.1 Antecedentes

La potencia eléctrica durante mucho tiempo se controló con diferentes dispositivos, pero las tendencias a tener una mayor eficiencia nos ha llevado por diferentes caminos que nos han permitido obtenerla a través de la **Electrónica de Potencia**, que en la actualidad la mayor parte de estos componentes tienden a ser de estado sólido, pero sin dejar de utilizar los elementos básicos de la electrónica tales como resistencia, capacitancia e inductancia, que es necesario que se comprendan completamente para una buena implementación de los sistemas que se desarrollen.

La electrónica de potencia siempre va en conjunto de tres áreas cómo son: los elementos de potencia, la electrónica de dispositivos y el control, los cuales se encuentran interrelacionados. Un punto que siempre deberemos recordar es que estos dispositivos tienen una sección donde manejan muy baja potencia alrededor de miliwatts o escasos wats que corresponde a la parte de control y otra donde manejan alta potencia que por lo regular es de miles de wats a millones de wats, que corresponde a la parte de potencia.

#### 2.1.1 Historia de la electrónica de potencia

La historia podemos comentarla de diferentes puntos de vista pero al analizarla desde el punto de vista cronológico y remarcando los avances es posible ubicarla mejor. Así es que empieza a inicios del siglo pasado cuando se empieza a rectificar corriente eléctrica a través del arco de mercurio, después a mediados del siglo veinte se aplican para el control de la energía: el rectificador de tubo al alto vacío de rejilla controlada, el ignitrón, el fanotrón y tiratrón. Aunque en el año de 1948 los investigadores de Bell Telephone Laboratories inventan el transistor no es hasta 1956 cuando desarrollan el transistor PNP que se definió como tiristor o rectificador controlado de silicio "SCR" y General Electric inicia su producción comercialmente. Después de esto se han desarrollado una gran variedad de dispositivos con características mejores cada día y también la electrónica de componentes o dispositivos. En aquellos años el control se encontraba frenado por no disponer de equipos que pudieran procesar gran cantidad de funciones así es que al disponerse posteriormente de todas estas capacidades en los últimos treinta años del siglo veinte. En la siguiente figura se muestra en forma gráfica estos avances.

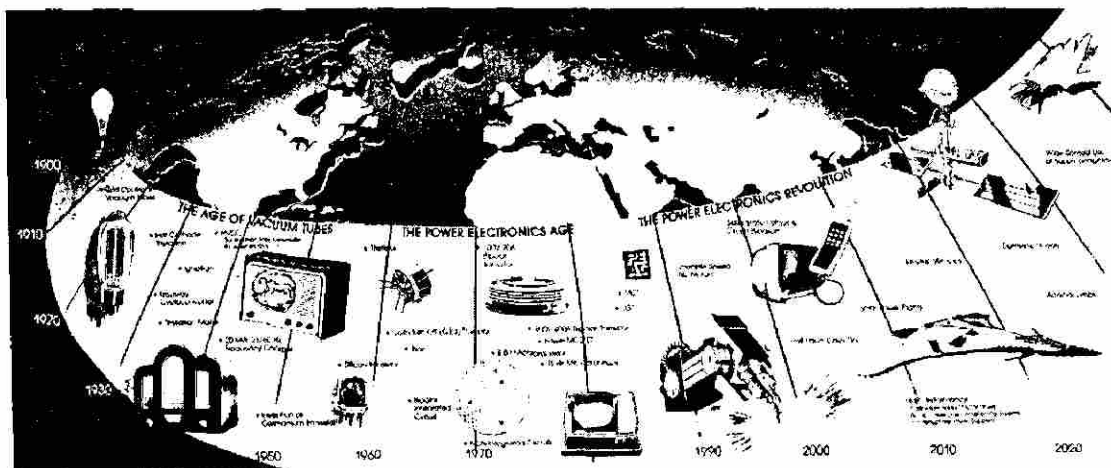


Figura 2.1.1 Historia de la electrónica de Potencia

### 2.1.2 Dispositivos semiconductores de potencia

Podríamos hacer diferentes clasificaciones para comprender y ubicar rápidamente las funciones de los elementos de potencia, pero esto se les puede dejar de tarea a los alumnos para que practiquen y obtengan una mejor comprensión de cada uno de los elementos de potencia. Por lo tanto, se explicará las características de cada uno de los elementos de potencia tales como: potencia que pueden manejar, niveles de corriente, niveles de voltaje, niveles de frecuencia, resistencia en estado de conducción de los dispositivos, tipo de señal que reciben en su compuerta y el tipo de corriente si es alterna o directa la que pueden manejar o ambas, entre ánodo-cátodo o colector-emisor o drenador-surtidor dependiendo el tipo de componente que sea.

Las siguientes figuras son para mostrar que tipo de presentación tienen.

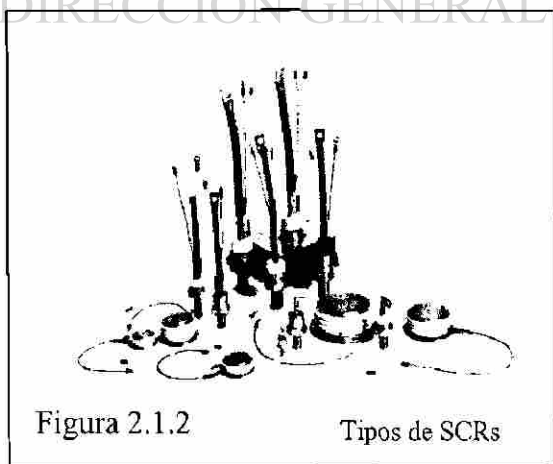


Figura 2.1.2

Tipos de SCR

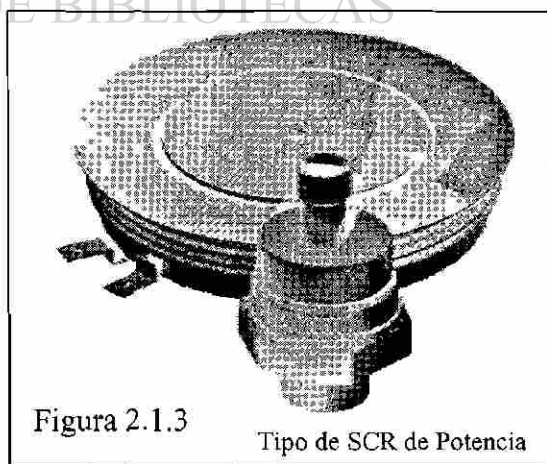


Figura 2.1.3

Tipo de SCR de Potencia



### 2.1.3 Operación y aplicaciones de los dispositivos de potencia

Los dispositivos de potencia operan de diferentes formas y con diferentes tipos de señal, por lo que a continuación se muestran circuitos sencillos con sus curvas características de voltaje contra corriente de cada componente correspondientes para que se capte fácilmente su operación. Aquí se agrupan los componentes de potencia en función del tipo de corriente que manejan ya sea alterna o directa.

DISPOSITIVOS	SÍMBOLOS	CARACTERÍSTICAS
DIODO		
TRIACTOR		
SITH		
GTO		
MCT		
TRIAC		
LABOR		
IPNGBT		
IGBT		
MOSFET de canal N		
SIT		

Tabla 2.1.10 Elementos

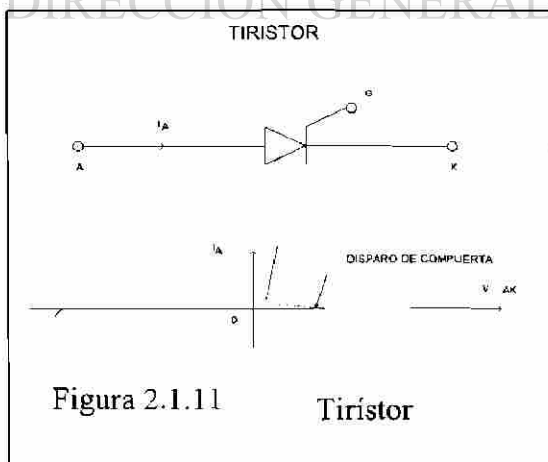


Figura 2.1.11 Tiristor

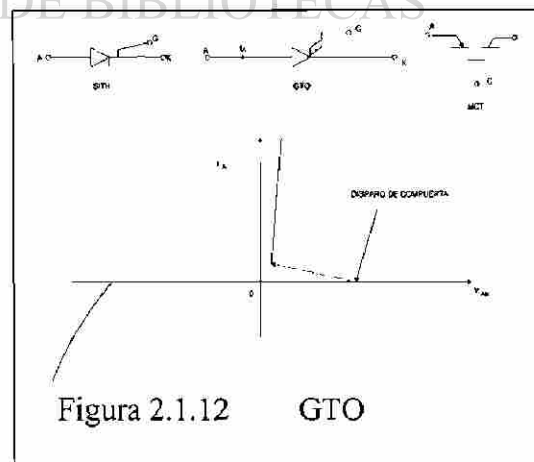


Figura 2.1.12 GTO

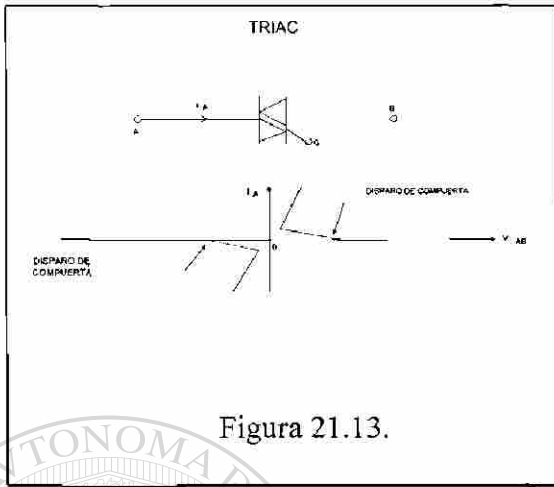


Figura 21.13.

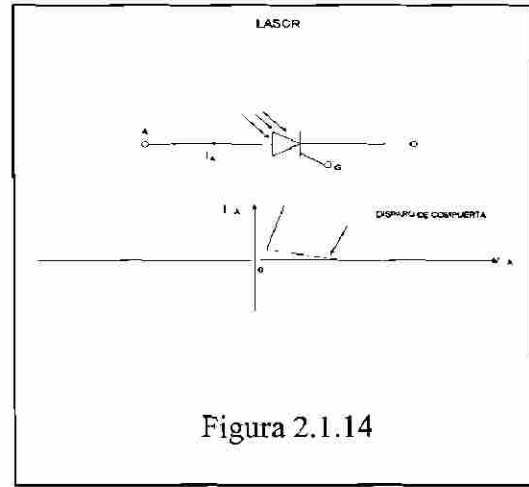


Figura 2.1.14

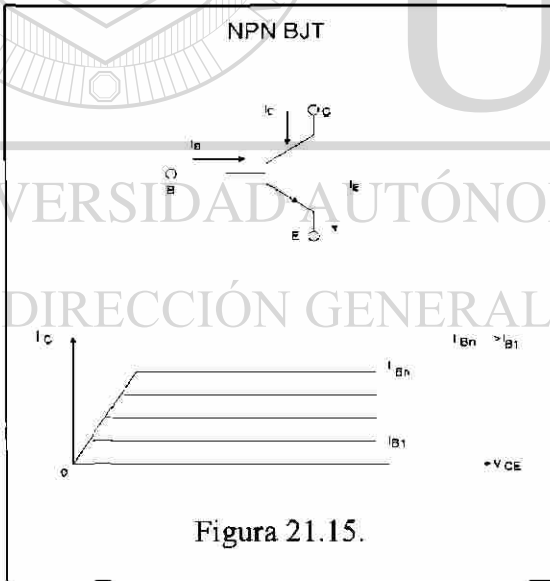


Figura 21.15.

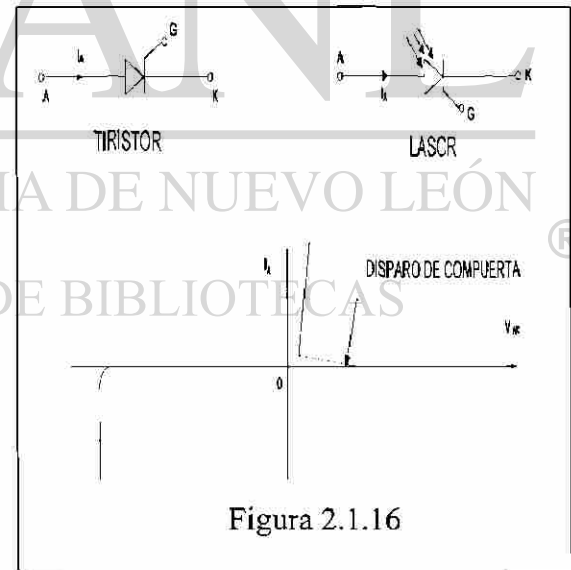
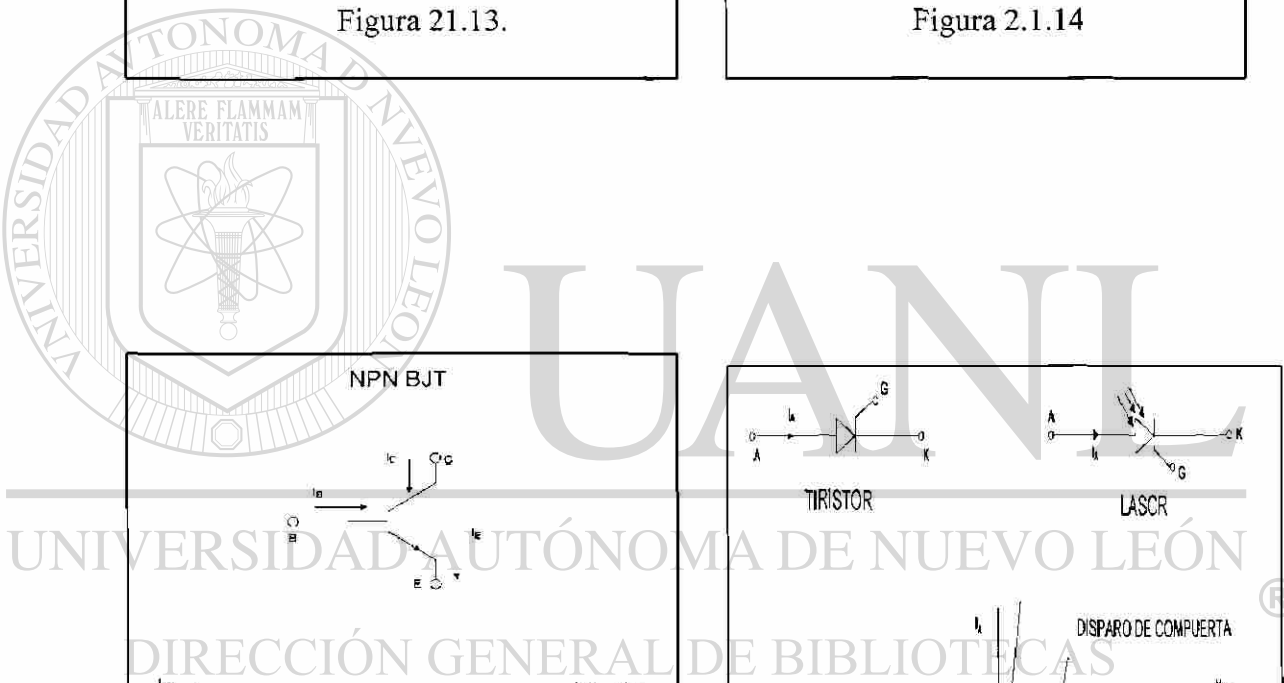


Figura 2.1.16



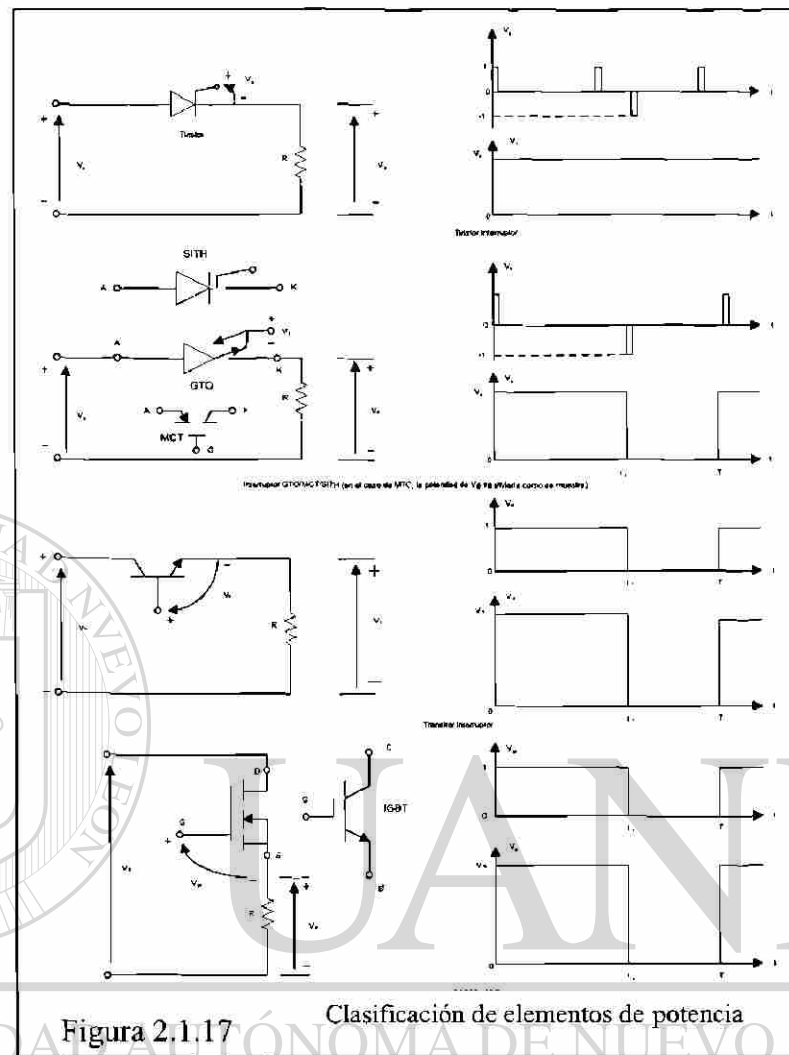


Figura 2.1.17

Clasificación de elementos de potencia

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Las aplicaciones dentro de la vida diaria en las diferentes áreas de utilización como son: la industrial, la comercial, doméstica, etcétera. Podemos apreciarlo en el siguiente listado y gráfico.



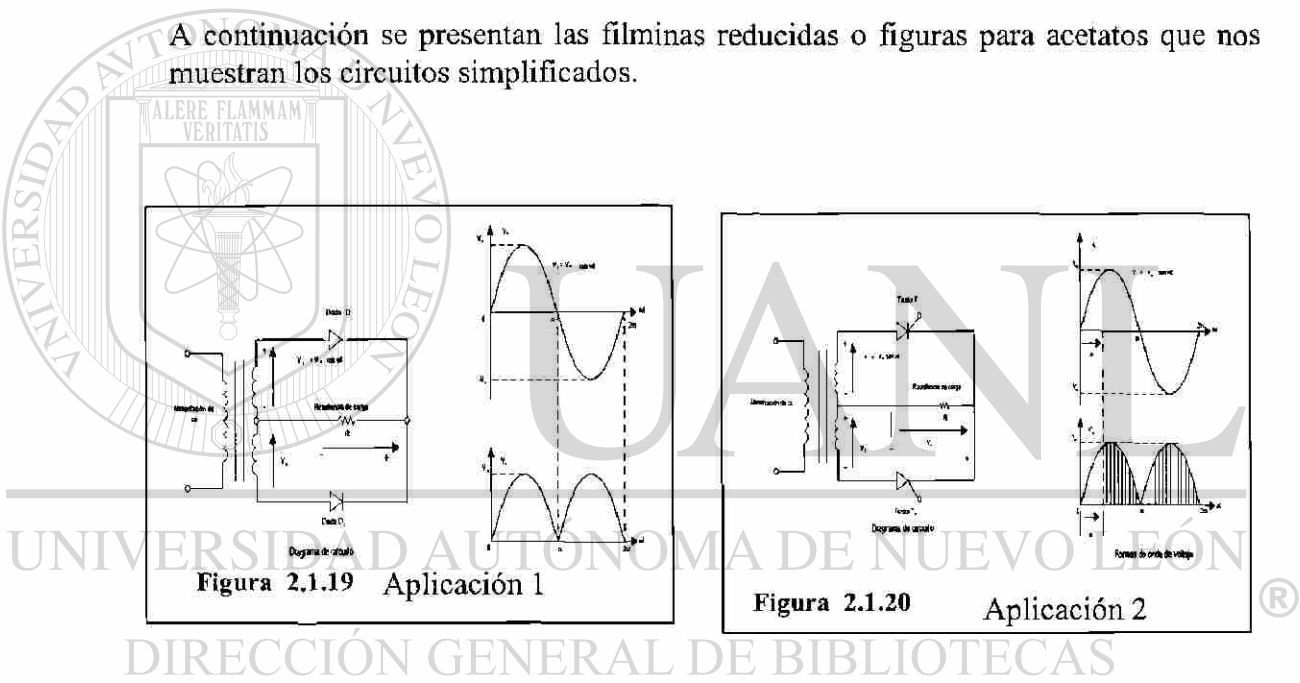
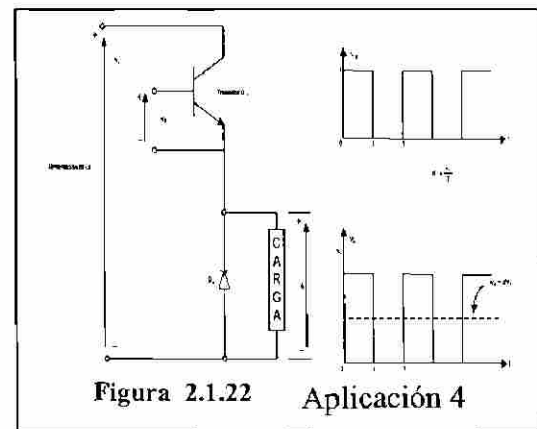
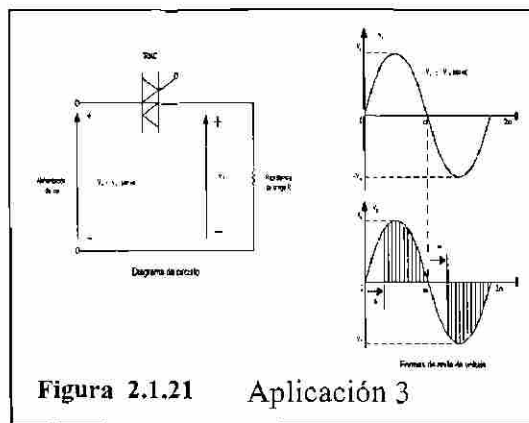
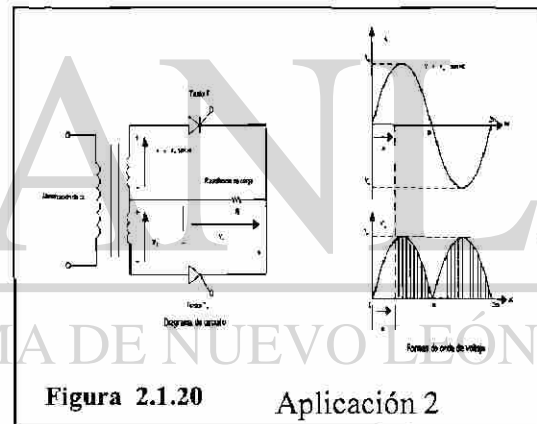
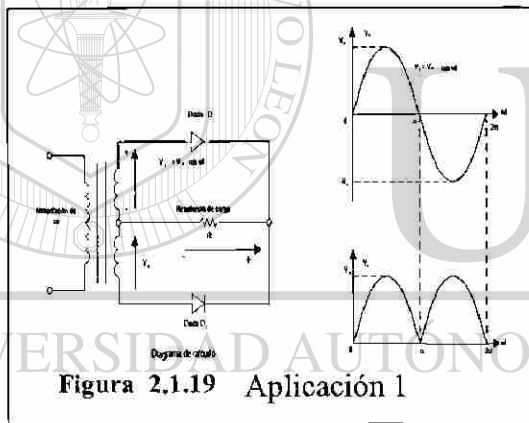


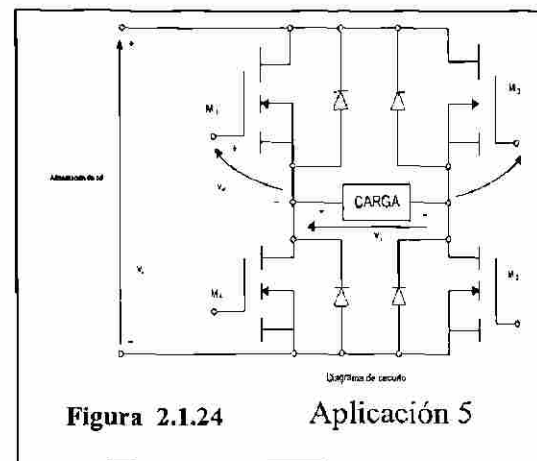
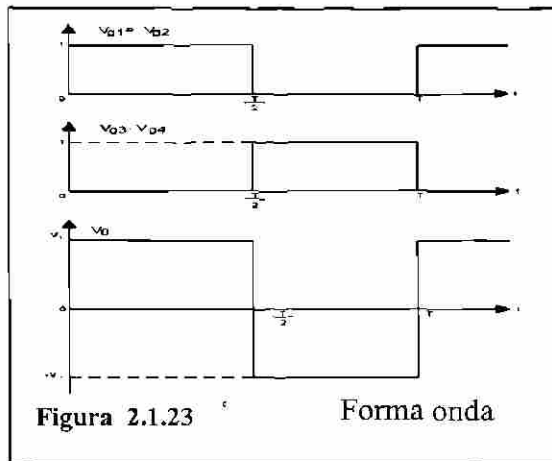
Para el manejo de la energía eléctrica es necesario el acondicionamiento de la misma, por lo que es necesario la conversión de la potencia eléctrica de una forma a otra, ya sea de C.A. a CD o CD a CA. La conversión se logra con el switcheo correspondiente de los elementos de potencia y de acuerdo al circuito de conversión podemos clasificar parcialmente de la forma siguiente:

- Convertidores de CA-CD
- Convertidores de CA-CA
- Convertidores de CD-CD
- Convertidores de CD-CA
- Interruptores estáticos

Controlados  
 No controlados

A continuación se presentan las filminas reducidas o figuras para acetatos que nos muestran los circuitos simplificados.





**Ventajas y Desventajas** de la aplicación de elementos de potencia en circuitos de switcheo. Así como presentan una serie de ventajas que nos ayudan a un mejor control de la potencia eléctrica tales como:

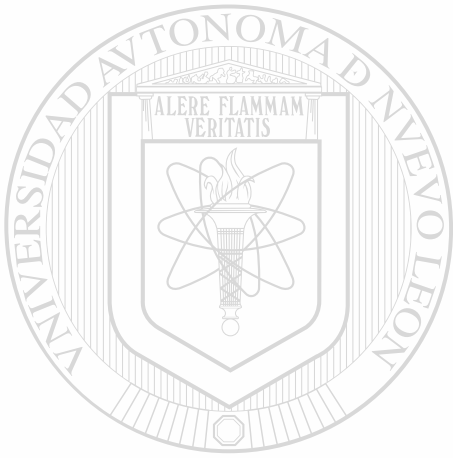
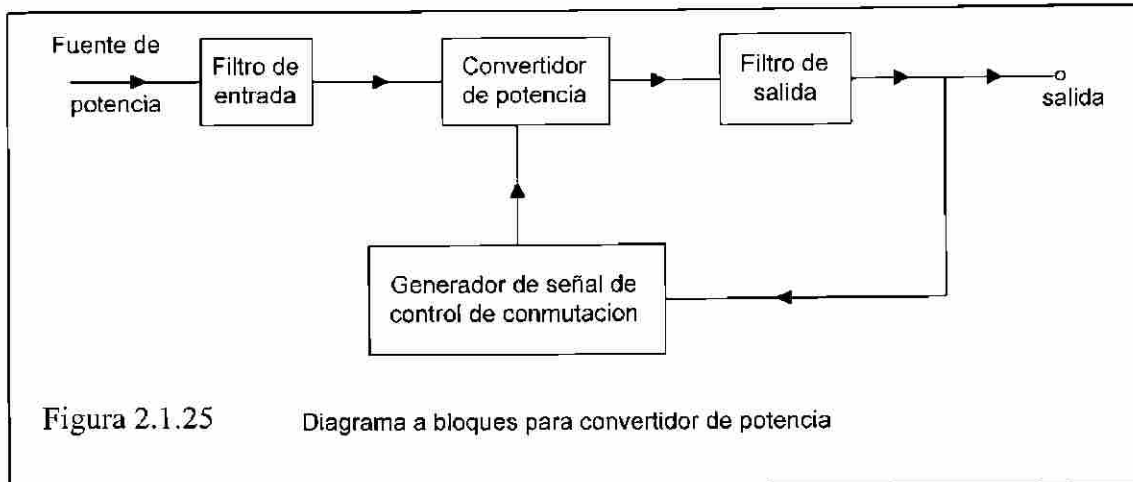
- Manejo de grandes cantidades de potencia
- Poco peso (ligero) y dimensiones
- Confiable (seguro)
- Gran rapidez en el apagado
- Necesita mínima potencia para el encendido
- No tiene partes móviles

También muestra a algunas desventajas de las que no debemos descuidar tales como:

- Caída de 1.5 volts en estado de encendido
- Limitación térmica debido a su dimensión
- Es necesario protegerlo contra transitorios
- Difícil de desactivar
- Generación e introducción de armónicos de corriente (I) o voltaje (V) en el sistema de alimentación y en la salida de los convertidores

Esto ocasiona una interferencia en diferentes equipos y para evitar estas interferencias es necesario aplicar filtros para eliminarlos.

A continuación se muestra un diagrama de bloques de un convertidor con algunas protecciones.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## 2.2 Diodos de Potencia

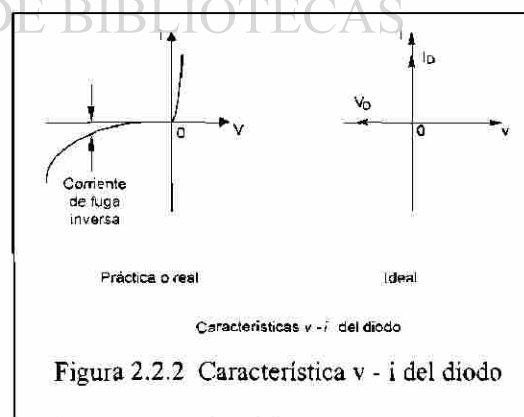
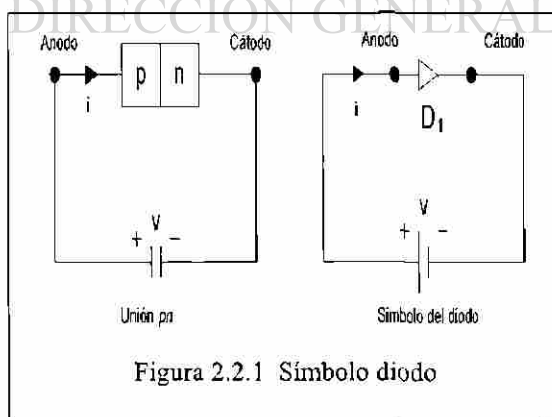
### 2.2.1 Antecedentes

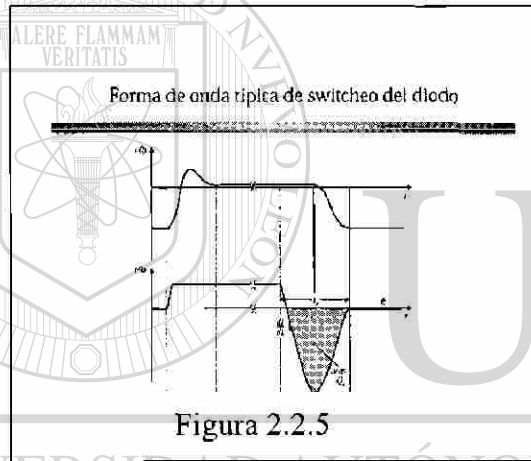
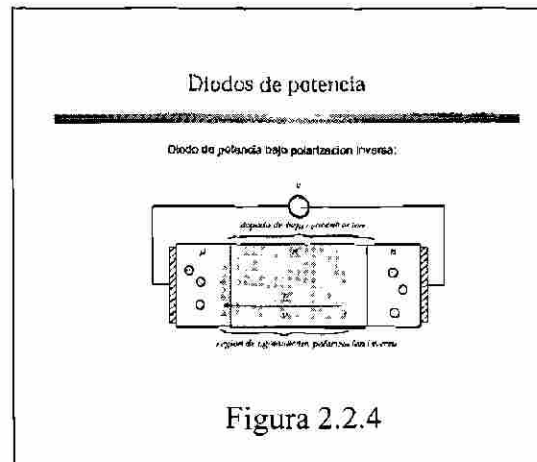
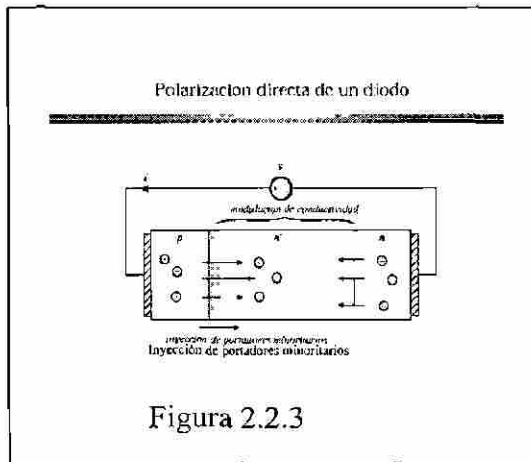
Los diodos de potencia tienden a cambiar el comportamiento en sus características o parámetros dependiendo en gran medida de la cantidad de corriente a manejar, por esta razón, hay mucha diferencia de las condiciones ideales con que realizamos nuestros cálculos; así que es conveniente tomar en cuenta las condiciones de cada sistema donde se trabaje y hay que detallar lo necesario, de acuerdo a la precisión que deseamos tener en nuestros cálculos.

Los diodos son aplicados en muy variados circuitos con funciones diferentes tales como: interruptores para rectificación, de marcha libre, en reguladores conmutados, en inversión de cargas en capacitores, transferencia de energía entre componentes de aislamiento de voltaje, retroalimentación de energía de la carga a la fuente de alimentación, etcétera.

### 2.2.2 Características de los diodos

Hay una gran variedad de parámetros que podremos analizar acerca de los diodos pero aquí veremos solo lo referente al efecto que tiene la temperatura en el componente o dispositivo, así también analizaremos las regiones de ruptura, polarización directa e inversa. A continuación se presentan los gráficos con que nos apoyaremos en estos temas de clase:





### Tipos de diodos de potencia

**Recuperación estándar**  
Tiempo de recuperación no especificado, para 50/60Hz

**Recuperación Ultra-rápida**  
Tiempo de recuperación y carga especificado  
Para aplicaciones de convertidores

**Diodo schottky**  
Dispositivo de portadores mayoritarios  
No tiene tiempo de recuperación  
Modelo con características de equilibrio A-V, en paralelo con la capacitancia de la región de agotamiento  
Restringido a voltajes bajos (poco pueden bloquear 100V o más)

Figura 2.2.6

### Características de algunos diodos rectificadores de potencia comerciales/Numero de parte

Numero de parte	Maximiliter	Características	V <sub>r</sub> (V)	I <sub>F</sub> (A)
<b>Rectificadores de recuperación rápida</b>				
1N3913	400V	30A	1.1V	400mA
54H5N02200G	2500V	100A	2.7V	20A
<b>Rectificadores de recuperación ultrarápida</b>				
MUR815	150V	8A	0.95V	15mA
MUR156	160V	15A	1.1V	60mA
RHFL100120	1200V	100A	2.4V	100mA
<b>Rectificadores Schottky</b>				
48SR100K	50V	60A	0.48V	
44K7N025	47V	440A	0.91V	
54N7G150	150V	50A	1.35V	

Figura 2.2.7

### Inspección a los dispositivos semiconductores de potencia

- Diodos de potencia
- MOSFETs de potencia
- Transistor de unión bipolar (BJTs)
- Transistor de compuerta aislada (IGBTs)
- Tiristores (SCR, GTO, MCT)

- Resistencias vs. falla por voltaje vs. tiempo de switcheo
- Mayoría y minoría de los dispositivos portadores

Figura 2.2.8

### 2.2.3 Clasificación de diodos

Como en cualquier fabricación de componentes o equipos, sabemos que a mayor calidad mayor costo, entonces, para tener una media óptima se tiene que prescindir de una muy alta calidad o de acuerdo al tipo de aplicación, rapidez de operación o capacidad de manejo de voltaje, para esto contamos con las siguientes gráficas en la cual presentamos únicamente la clasificación de los diodos y algunas gráficas.

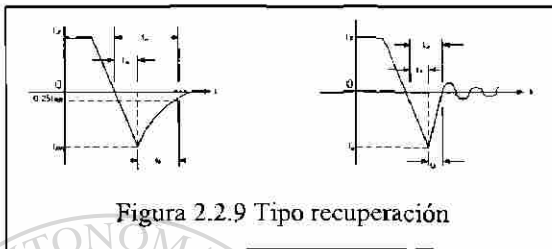


Figura 2.2.9 Tipo recuperación

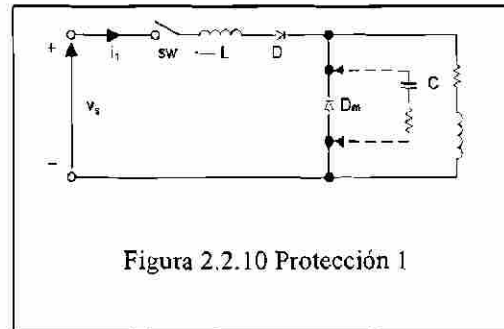


Figura 2.2.10 Protección 1

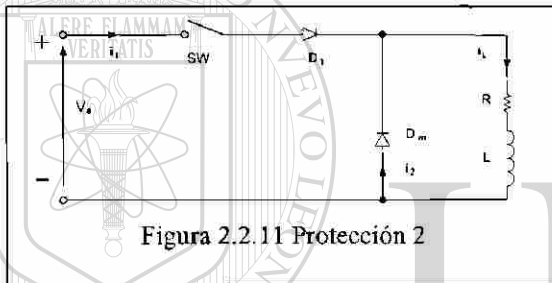


Figura 2.2.11 Protección 2

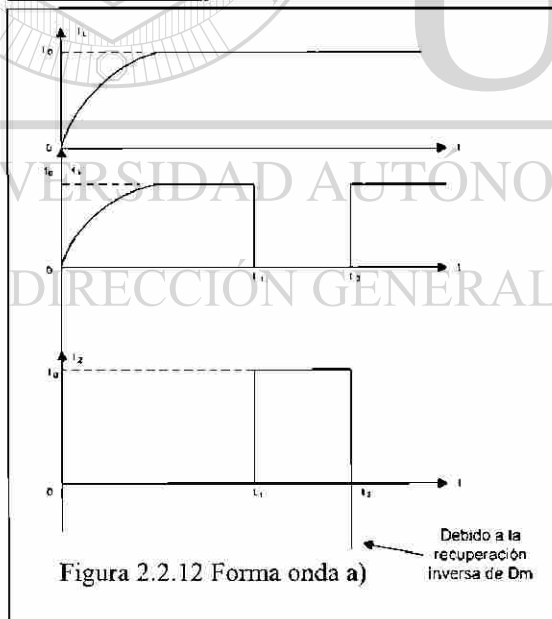


Figura 2.2.12 Forma onda a)

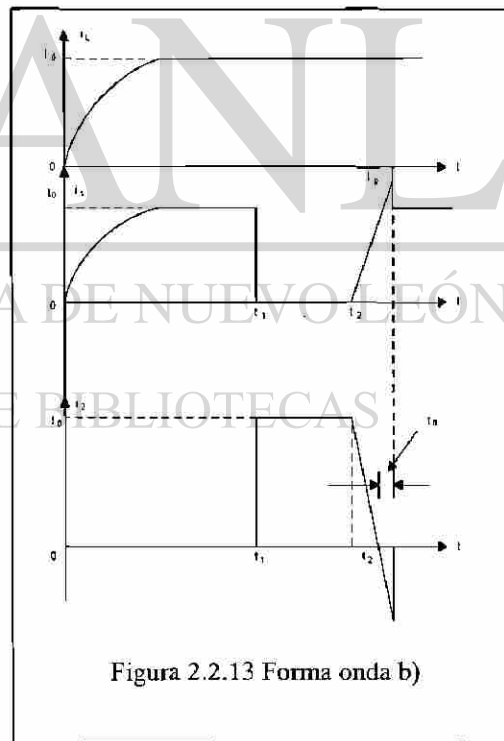


Figura 2.2.13 Forma onda b)

**Problema 1**

El tiempo de recuperación inversa de un diodo es  $t_{rr}=5\mu s$ , y la velocidad de reducción de la corriente del diodo es  $di/dt= 80 A/\mu s$ . Si el factor de suavidad es  $SF= 0.5$ , determine la carga de almacenamiento  $Q_{rr}$  y la corriente inversa pico  $I_{rr}$ .

$t_{rr}=5 \mu s$  and  $di/dt = 80 A/\mu s$

a) Ecuación (2.10)  $t_{rr} = \sqrt{\frac{2Q_{RR}}{di/dt}}$

$$Q_{RR} = 0.5 (di/dt) t_{rr}^2 = 0.5 \times 80 \times 5^2 \times 10^{-6} = 1000 \mu C$$

b) Ecuación (2.11)  $I_{RR} = \sqrt{2Q_{RR} \frac{di}{dt}}$

$$I_{RR} = \sqrt{2Q_{RR} di/dt} = \sqrt{2 \times 1000 \times 80} = 400 A$$

**Problema 2**

Los valores medidos de un diodo a una temperatura de  $25^\circ C$  son  $V_{D1}= 1.0v$  a  $I_{D1}=50 A$ ,  $V_{D2}=1.5V$  a  $I_{D2} = 600 A$ . Determine el coeficiente de emisión  $n$  y la corriente de fuga.  $V_T=25.8 \times 10^{-3} mV$

De la ecuación (2-3) despejamos el logaritmo natural (base e)

$$I_D = I_S \left( e^{\frac{V_D}{n V_T}} - 1 \right)$$

$$\ln I_D = \ln I_S + \frac{V_D}{n V_T}$$

Después de la simplificación obtenemos el voltaje del diodo  $V_D$  el cual queda como:

$$V_D = n V_T \ln \left( \frac{I_{D1}}{I_S} \right) \quad \text{donde: } n = \text{factor de idealidad}$$



Si la corriente del diodo  $I_{D1}$ , corresponde al voltaje de diodo  $V_{D2}$ , obtenemos:

$$V_{D1} = V_T \log\left(\frac{I_{D1}}{I_S}\right)$$

Si  $V_{D2}$  es similar al voltaje del diodo, este corresponde a la corriente del diodo  $I_{D2}$ , y obtenemos.

$$V_{D2} = nV_T \ln\left(\frac{I_{D2}}{I_S}\right)$$

Por lo tanto, la diferencia dentro del voltaje del diodo puede ser expresada por:

$$V_{D2} - V_{D1} = nV_T \ln\left(\frac{I_{D2}}{I_S}\right) - nV_T \ln\left(\frac{I_{D1}}{I_S}\right) = nV_T \ln\left(\frac{I_{D2}}{I_{D1}}\right)$$

a) Para  $V_{D2} = 1.5 \text{ V}$ ,  $V_{D1} = 1.0 \text{ V}$ ,  $I_{D2} = 600 \text{ A}$ , and  $I_{D1} = 50 \text{ A}$ ,

$$1.5 - 1.0 = n \times 0.0258 \times \ln\left(\frac{600}{50}\right), \quad \text{el resultado de } n = 7.799$$

b) Para.

$V_{D1} = 1.0 \text{ V}$ ,  $I_{D1} = 50 \text{ A}$ , y  $n = 7.799$

$$1.0 = 7.799 \times 0.0258 \times \ln\left(\frac{50}{I_S}\right), \quad \text{el resultado de } I_S = 0.347 \text{ A.}$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 2.2.4 Diodos conectados en serie o en paralelo

A continuación se analizará el porqué de las instalaciones que tienen diodos en serie o paralelo y sus protecciones. Cuando no se dispone de elementos que cuenten la capacidad de voltaje es necesario conectarlos en serie para poder manejar un mayor voltaje, pero el conectarlos en serie puede ocasionar daños cuando se presentan voltajes transitorios, lo que se corrige con circuitos de protección. Conectando en paralelo un RC para evitar que el  $dv/dt$  del transitorio sea menor que la del componente de potencia o diodo.

En el caso de que pueda ser necesario manejar altas corrientes y no se dispone de componentes de la capacidad, es necesario conectar diodos en paralelo, los que soportarían la capacidad de la corriente. Pero si se presentan transitorios en convertidores podrían sufrir daños los elementos, por lo que es necesario que se conecten en serie con el elemento un RL que permite que al transitorio  $di/dt$  sea menor que el permitido en el elemento de potencia.

A continuación se presentan figuras con los circuitos, gráficas de comportamiento y además de problemas que nos permiten calcular las capacidades de los RL o RC necesarios.

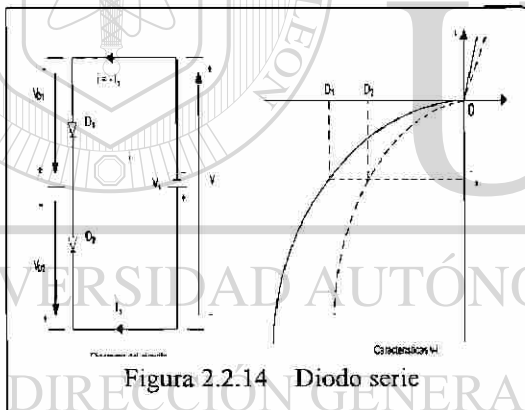


Figura 2.2.14 Diodo serie

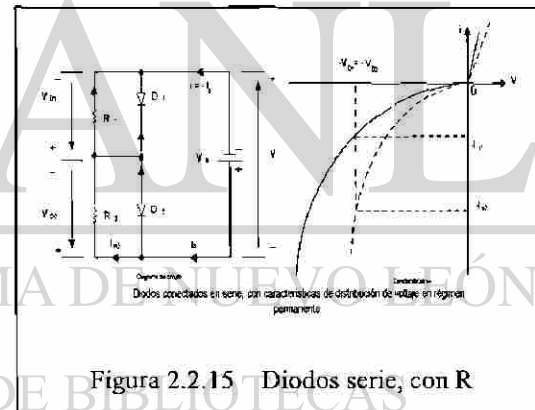


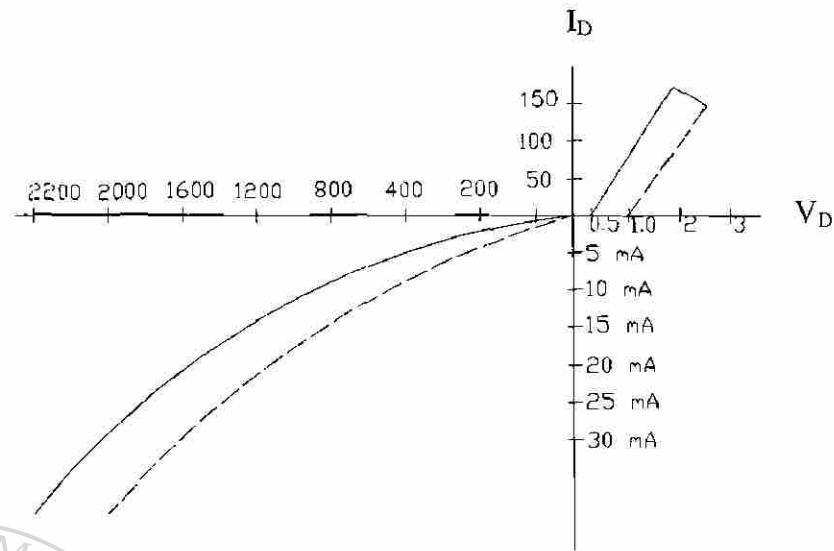
Figura 2.2.15 Diodos serie, con R

### Problema 3

Dos diodos están conectados en serie y el voltaje a través de cada uno de ellos se mantiene igual mediante la conexión de una resistencia de distribución de voltaje, de tal forma que  $V_{D1} = V_{D2} = 2000$  V y  $R_1 \approx 100$  K $\Omega$ . Las características  $v-i$  de los diodos aparecen en la figura. Determine las corrientes de fuga de cada diodo y la resistencia  $R_2$  a través del diodo  $D_2$

$$V_{D1} = V_{D2} = 2000 \text{ V}, \quad R_1 = 100 \text{ K}\Omega$$

a) De la figura 2.2.16



**Figura 2.2.16** Característica de diodos en serie

Las corrientes son:  $I_{s1} = 17\text{mA}$  y  $I_{s2} = 25\text{mA}$

$$I_{R1} = \frac{V_{D1}}{R_1} = \frac{2000}{100000} = 20\text{mA}$$

b) De la ecuación 2-18,  $I_{s1} + I_{R1} = I_{s2} + I_{R2}$

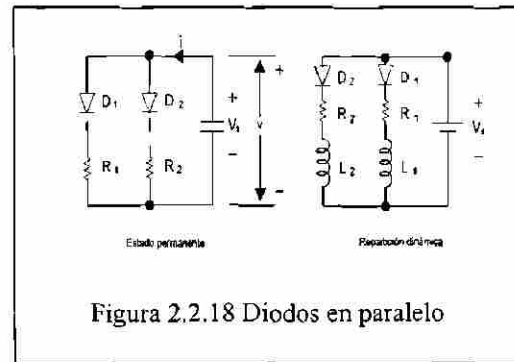
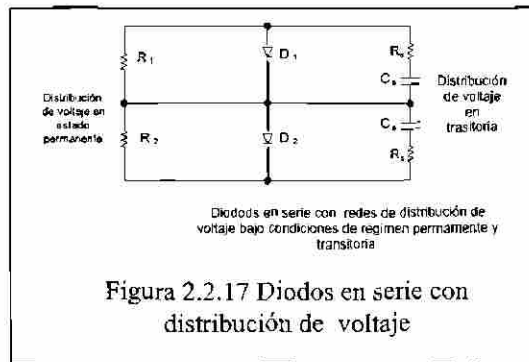
$$\text{o } 17 + 20 = 25 + I_{R2}, \text{ o } I_{R2} = 12\text{mA}$$

$$R_2 = 2000 / 12 \text{ mA} = 166.67\text{K}\Omega$$

#### Problema 2.4

Dos diodos están conectados en paralelo siendo la caída de voltaje directa a través de cada uno de ellos de 1.5V. Las características  $v-i$  de los diodos aparecen en la figura P2-3. Determine las corrientes directas a través de cada diodo.

Para  $V_D = 1.5\text{V}$ , figura P2-3 las corrientes  $I_{D1} = 140$  y  $I_{D2} = 50$  A



#### Problema 4

Dos diodos están conectados en paralelo, como se muestra en la figura 2.2.18, con resistencias de reparto de corriente. Las características  $v-i$  se muestran en la figura 2.2.16. La corriente total es  $I_T=200$  A. El voltaje a través de un diodo y su resistencia es  $V=2.5$  V. Determine los valores de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  si la corriente se comparte en forma ideal entre ambos diodos.

$$I_T = 200 \text{ A}, \quad V = 2.5$$

$$I_1 = I_2, \quad I_1 = \frac{I_T}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ A}$$

Para  $I_1 = 100$  A, *Figura 2.2.16* los valores son  $V_{D1} = 1.1$  V y  $V_{D2} = 1.95$  V

$$V = V_{D1} + I_1 R_1 \quad \text{ó} \quad 2.5 = 1.1 + 100 R_1 \quad \text{ó} \quad R_1 = 14 \text{ m}\Omega$$

$$V = V_{D2} + I_2 R_2 \quad \text{ó} \quad 2.5 = 1.95 + 100 R_2 \quad \text{ó} \quad R_2 = 5.5 \text{ m}\Omega$$

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## 2.3 Circuitos con Diodos Rectificados

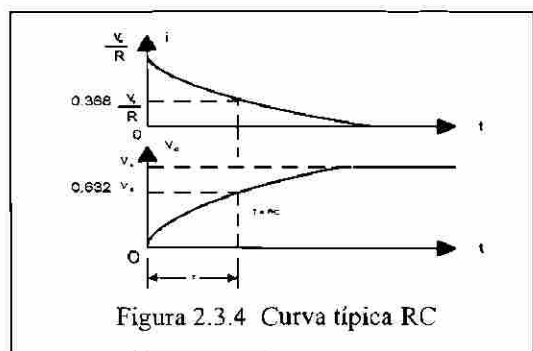
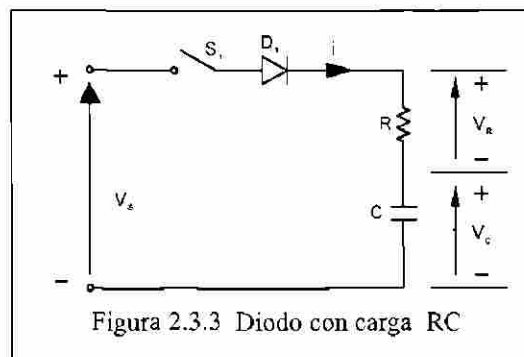
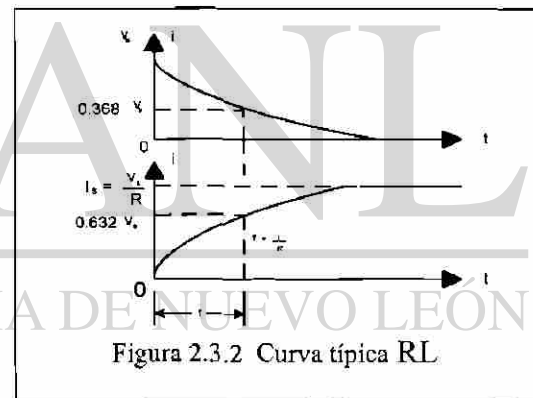
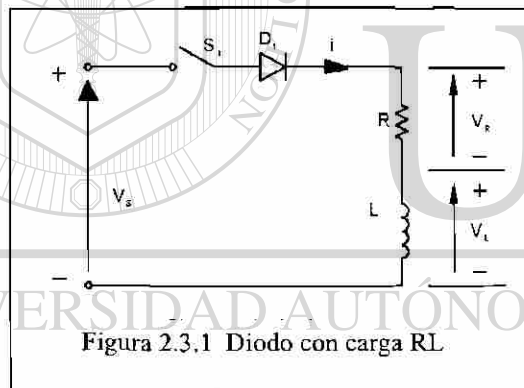
### 2.3.1 Antecedentes

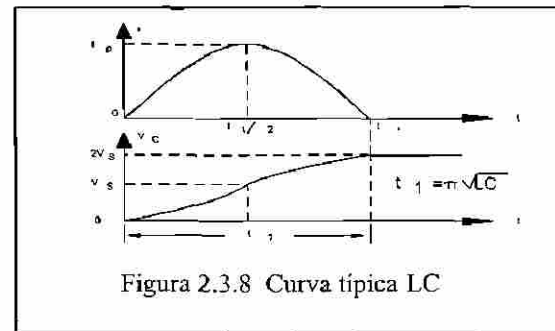
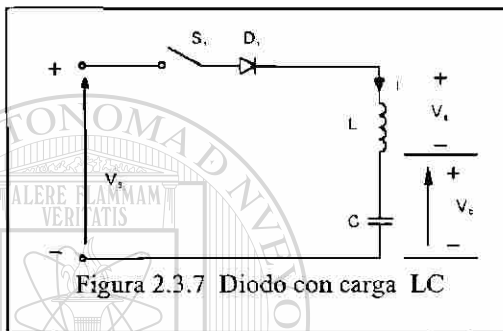
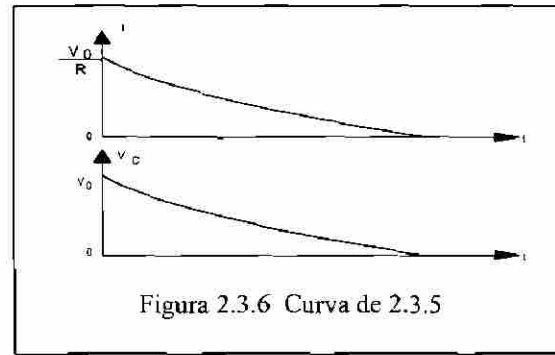
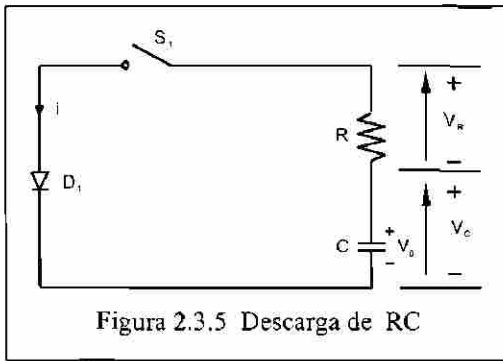
Recordemos que los diodos son aplicados para convertir CA a CD no controlada o también conocido como fija.

Recordemos que los análisis hechos son considerando voltaje del diodo en conducción igual a cero a igual que el tiempo de recuperación inversa.

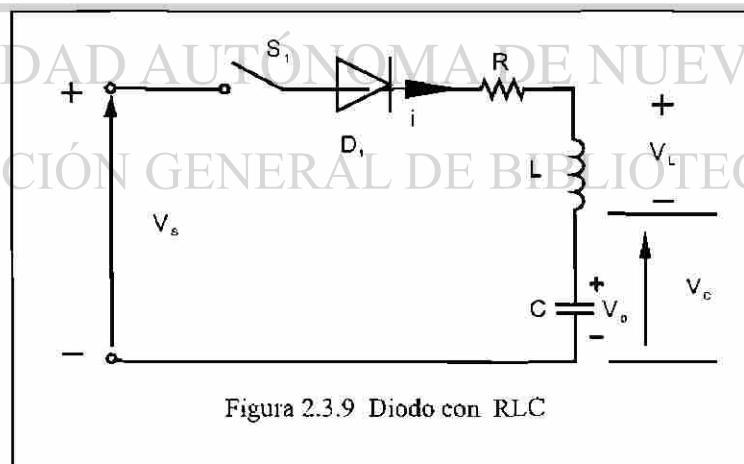
### 2.3.2 Circuitos con cargas RC, RL, LC, RLC.

A continuación se presentan los circuitos a analizar, pero se recomienda que se dé un repaso a las leyes fundamentales aplicadas en inductancias y capacitancias, sin olvidar las unidades para una mejor comprensión del comportamiento de estos elementos que serán principalmente aplicados como cargas, otro concepto que es necesario tener muy en claro es el concepto de resonancia.





A continuación se presenta el análisis de circuito RLC .



En la figura 2.3.9 aparece un circuito de diodo con carga RLC. Si el interruptor  $S_1$  se cierra en  $t=0$ , podemos utilizar la ley Kirchoff para escribir la ecuación de la corriente de carga  $i$  como

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt + v_c(t=0) = V_s$$

con condiciones iniciales  $i(t=0)$  y  $v_c(t=0)=v_0$ . Al diferenciar la ecuación y dividir ambos miembros entre  $L$ , obtenemos

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0$$

Bajo condiciones de régimen permanente u operación normal, el capacitor está cargado al voltaje fuente  $V_s$ , siendo la corriente de régimen permanente cero. También la ecuación es cero la componente forzada de la corriente. La corriente se debe al componente natural.

La ecuación característica de la transformada de Laplace de  $s$  es

$$s^2 + \frac{R}{L} s + \frac{1}{LC} = 0$$

Las raíces de la ecuación cuadrática están dadas por

$$s_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

El *Factor de amortiguamiento*,

$$\epsilon = \alpha = \frac{R}{2L}$$

La *Frecuencia de resonancia*,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación, obtenemos

$$s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

La solución en función de la corriente, que dependerá de los valores de  $\alpha$  y de  $\omega_0$ , seguiría alguno de tres casos posibles.

**Caso 1.** Si  $\alpha = \omega_0$ , las raíces son iguales,  $s_1 = s_2$ , y el circuito se conoce como *críticamente amortiguado*, la solución será de la forma

$$i(t) = (A_1 + A_2 t)e^{s_1 t}$$

**Caso 2.** Si  $\alpha > \omega_0$ , las raíces serán reales y el circuito se dice que estará *sobre amortiguado*. La solución toma la forma

$$i(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}$$

**Caso 3.** Si  $\alpha < \omega_0$ , las raíces serán complejas y el circuito se dice que estará *subamortiguado*. Las raíces son

$$s_{1,2} = -\alpha \pm j\omega_r$$

donde  $\omega_r$  se conoce como la *frecuencia de resonancia* (o la frecuencia resonante amortiguada) y  $\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$ . La solución toma la forma

$$i(t) = e^{-\alpha t} (A_1 \cos \omega_r t + A_2 \operatorname{sen} \omega_r t)$$

que es una *sinusoide amortiguada* o de *decaimiento*.

## Problemas

### Ejemplo 1

Si el interruptor S1 de la figura 2.3.10 se cierra en  $t=0$ , determine la expresión para:

- la corriente que fluye a través del interruptor  $i(t)$  y
- la velocidad de elevación de la corriente  $di/dt$ .
- Dibuje curvas corriente contra tiempo,  $di/dt$ .
- ¿Cuál es el valor de  $di/dt$  inicial? Para la figura 2.3.10 encuentre solo  $di/dt$  inicial.

### Ejemplo 1

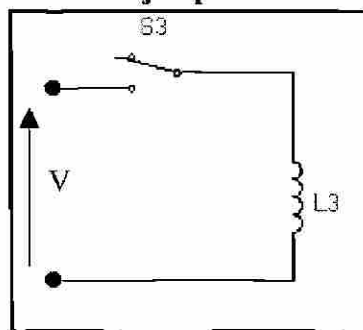


Figura 2.3.10 Problema ejemplo 1



- (a)  $L \frac{di}{dt} = V$  o  $i = \frac{V}{L} \int dt$   
 (b)  $di/dt = v_s / L$ ;  
 (c)  $di/dt$  (a  $t=0$ ) =  $v_s / L$ .

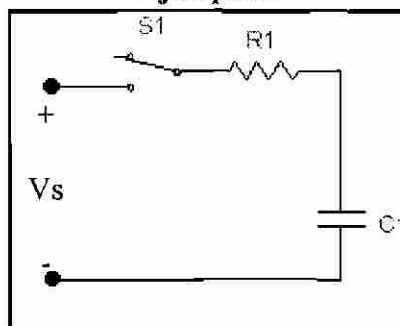
**Ejemplo 2**

Figura 2.3.11 Problema ejemplo 1

- (a)  $\frac{1}{C} \int i dt + Ri = V_s - V_0$  o  $i(t) = \frac{V_s - V_0}{R} e^{-t/RC}$   
 (b)  $\frac{di}{dt} = -\frac{V_s - V_0}{R^2 C} e^{-t/RC}$   
 (c) En  $t=0$ ,  $di/dt = (V_s - V_0)/(R^2 C)$

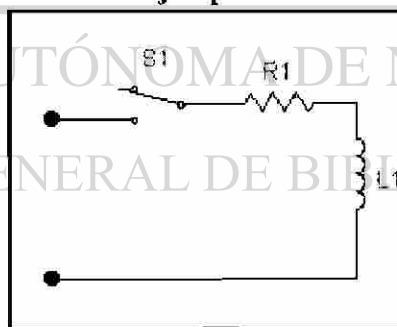
**Ejemplo 3**

Figura 2.3.12 Problema ejemplo 1

- (a)  $L \frac{di}{dt} + Ri = v_s$  o  $i(t) = \frac{V_s}{R} e^{-tR/L}$   
 (b)  $\frac{di}{dt} = \frac{V_s}{L} e^{-tR/L}$   
 (c) En  $t=0$ ,  $di/dt = \frac{V_s}{L}$

## Ejemplo 4

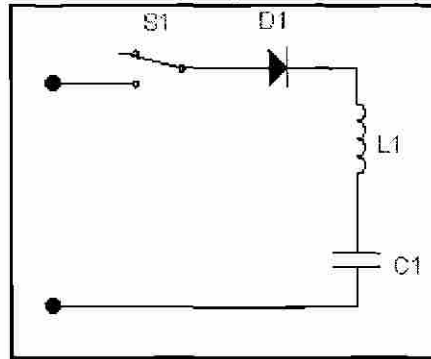


Figura 2.3.13 Problema ejemplo 1

$$(a) \quad v_s = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + v_c(t=0)$$

con la condición inicial :  $i(t=0) = 0$  y  $v_c(t=0) = v_o$ .

$$i(t) = (v_s - v_o) \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega t = I_p \sin \omega t$$

Donde  $\omega = 1/\sqrt{LC}$

$$(b) \quad \frac{di}{dt} = \frac{v_s - v_o}{L} \cos \omega t$$

$$(d) \quad \text{At } t=0, \quad di/dt = (v_s - v_o)/L$$

## Ejemplo 5

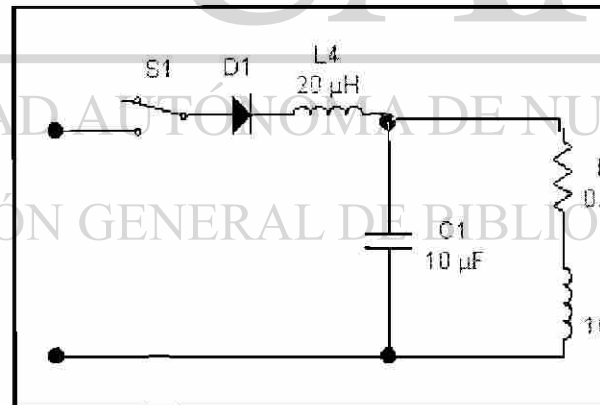


Figura 2.3.14 Problema ejemplo 1

En  $t=0$ , la inductancia se comporta como un circuito abierto y en el capacitor hay un corto circuito. La  $di/dt$  inicial es limitada solo por la inductancia  $L_1$ . Así la  $di/dt$  inicial es:

$$di/dt = v_s / L_1 = v_s / 20\mu\text{H} = v_s / 20 \text{ A}/\mu\text{s}$$

### 2.3.3 Diodos de Marcha Libre

Para explicar el comportamiento del diodo de marcha libre es más práctico observando el circuito correspondiente y así ya comprendido pasar a realizar los cálculos necesarios que se requieren en los problemas.

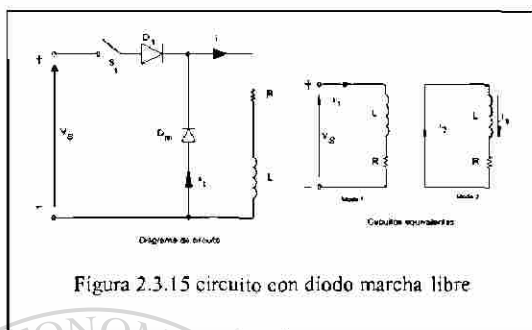


Figura 2.3.15 circuito con diodo marcha libre

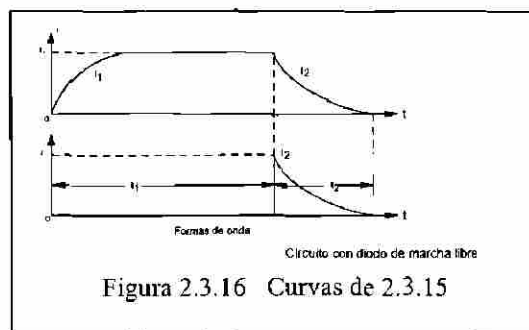


Figura 2.3.16 Curvas de 2.3.15

#### Problema

Un circuito de diodo aparece en la figura anterior con  $R= 10\Omega$ ,  $L= 5mH$  y  $V_s=220V$ . Si fluye una corriente de carga de  $10 A$  a través del diodo de marcha libre  $D_m$  y el interruptor  $S_1$  se cierra en  $t=0$ , determine la expresión de la corriente  $i$  a través del interruptor. Considere al diodo como ideal sin caída de voltaje a través de éste.

$$R = 10$$

El interruptor de corriente se describe con

$$V_s = L \frac{di}{dt} + R i$$

Con la condición inicial :  $i(t = 0) = I_1$ ,

$$i(t) = \frac{V_s}{R} (1 - e^{-tR/L}) + I_1 e^{-tR/L} = 22 - 12 e^{-2000t} A$$

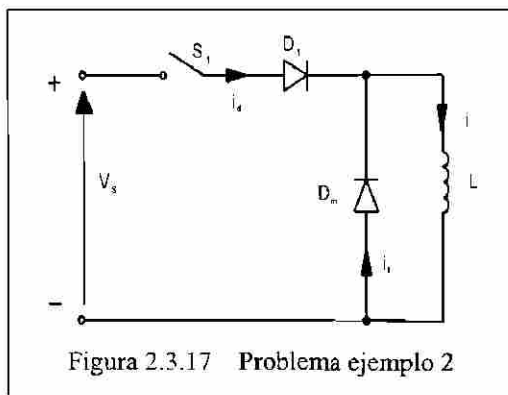


Figura 2.3.17 Problema ejemplo 2

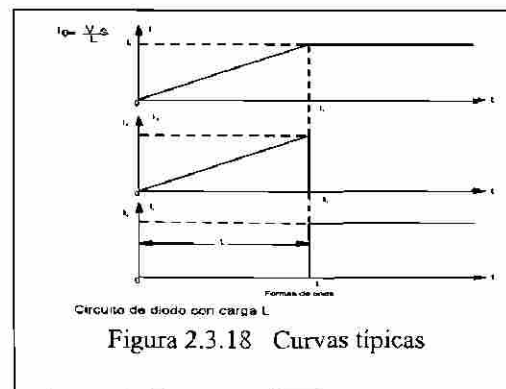
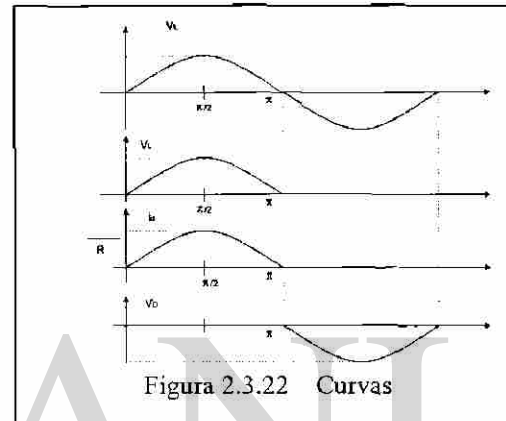
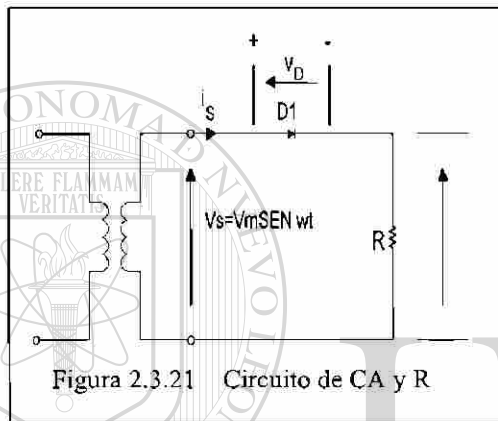
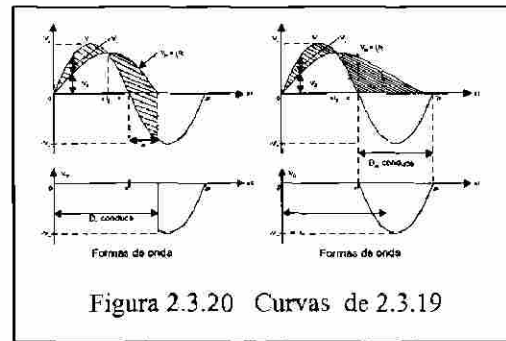
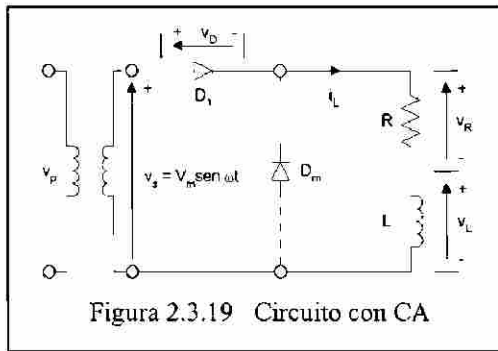
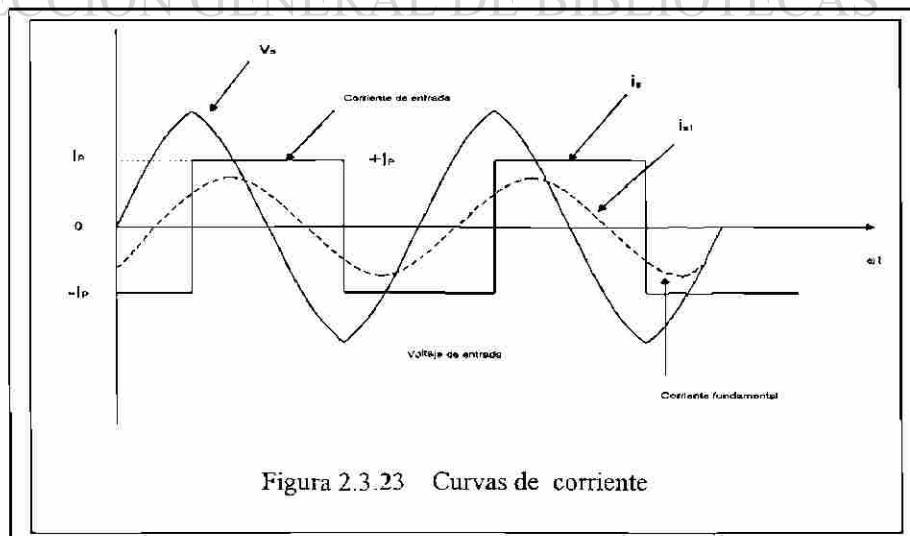


Figura 2.3.18 Curvas típicas



### 2.3.4 Parámetros de rendimiento

Para analizar la calidad de la energía obtenida de un rectificador de cualquier tipo y los rendimientos de estos, se analizarán y calcularán los parámetros. Y estos son los siguientes:  $V_{CD}$ ,  $I_{CD}$ ,  $P_{CD}$ ,  $V_{RMS}$ ,  $I_{RMS}$ ,  $P_{RMS}$ ,  $\eta$ ,  $V_{CA}$ ,  $FF$ ,  $RF$ ,  $TUF$ ,  $DF$ ,  $HF$ ,  $PF$ ,  $CF$ .



3-12 ¿Cuáles son los parámetros de rendimiento de un rectificador?

**Eficiencia**  $\eta = \frac{P_{cd}}{P_{ca}}$

$$RF = \frac{V_{ca}}{V_{cd}}$$

$$V_{ca} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{cd}^2}$$

**Factor de Forma**

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{cd}}$$

**Factor de Componente Ondulatoria**

$$RF = \frac{V_{ca}}{V_{cd}}$$

**Eficiencia**

$$\eta = \frac{P_{cd}}{P_{ca}}$$

Eficiencia: porcentaje de la energía alterna que se aprovecha para convertirla en energía de corriente directa.

**Factor de Utilización del Transformador**

$$TUF = \frac{P_{cd}}{V_s I_s}$$

el porcentaje de la energía eficaz aportada por el transformador que se aprovecha para convertirla en potencia directa al circuito.

**Factor de Desfase**

DF=  $\cos\phi$ ; es el coseno del ángulo que existe entre las componentes fundamentales de la corriente y el voltaje.

**Factor de Potencia de Entrada**

$$PF = \frac{V_s I_{s1}}{V_s I_s}$$

$$\cos\phi = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos\phi$$

### Factor de Armónicas

HF; es una medida de la distorsión de una forma de onda y también se conoce como distorsión armónica total (THD) y se define como:

$$HF = \sqrt{\frac{(I_s^2 - I_{s1}^2)}{I_{s1}^2}} = \sqrt{\frac{(I_s^2 - 1)}{I_{s1}^2}}$$

### 2.3.5 Rectificación de ½ ondas y onda completa con carga R

De acuerdo a los diferentes circuitos para la rectificación de ½ y onda completa se analizan sus formas de rectificar y su comportamiento, para después pasar a calcular los de rendimiento para cada uno de los tipos de rectificación con los diferentes tipos de carga.

A continuación se presentan los diferentes circuitos típicos, las gráficas que se obtienen y algunos de los problemas típicos resueltos.

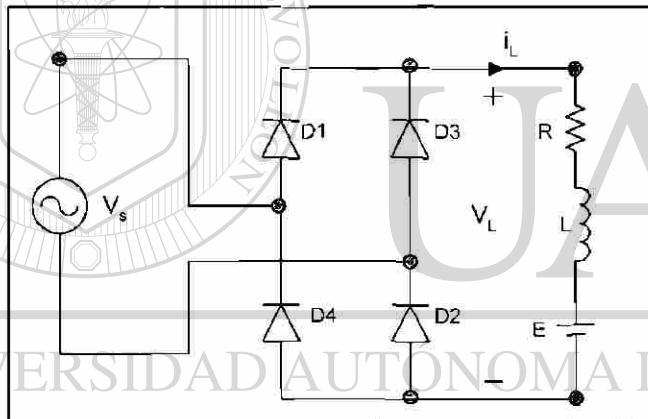


Figura 2.3.24  
Punte Rectificador onda completa

#### Problema

Un puente rectificador monofásico tiene una carga permanente resistiva  $R=10\ \Omega$ , el voltaje pico de alimentación  $V_m=170\text{V}$  y la frecuencia de alimentación  $f=60\text{Hz}$ . Determine el voltaje promedio de salida del rectificador, si la inductancia de la fuente es despreciable.

$$V_m = 170\text{ V}, \quad R = 10\ \Omega, \quad f = 60\text{ Hz}$$

$$V_{cd} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t \, dt = \frac{2V_m}{\pi} = 0.6366 \quad V_m$$

$$V_m = 0.6366 \times 170 = 113.32 \quad \text{V}$$

### 2.3.6 Rectificación de $\frac{1}{2}$ y onda completa trifásica con carga R

Se analizará ahora los circuitos para rectificación de  $\frac{1}{2}$  y ondas completas trifásica y se analiza como se incrementa la eficiencia, si se incrementa el número de fases y los efectos armónicos en los circuitos de rectificación. Analizando también los parámetros de rendimiento para éstos.

A continuación se presentan los diferentes circuitos típicos, las gráficas que se obtienen y algunos de los problemas típicos resueltos.

#### Problema

Un rectificador de seis fases en estrella tiene una carga puramente resistiva  $R=10\Omega$ , un voltaje pico de alimentación  $V_m=170V$  y la frecuencia de alimentación  $f=60\text{ Hz}$ . Determine el voltaje promedio de salida del rectificador, si la inductancia de la fuente es despreciable.

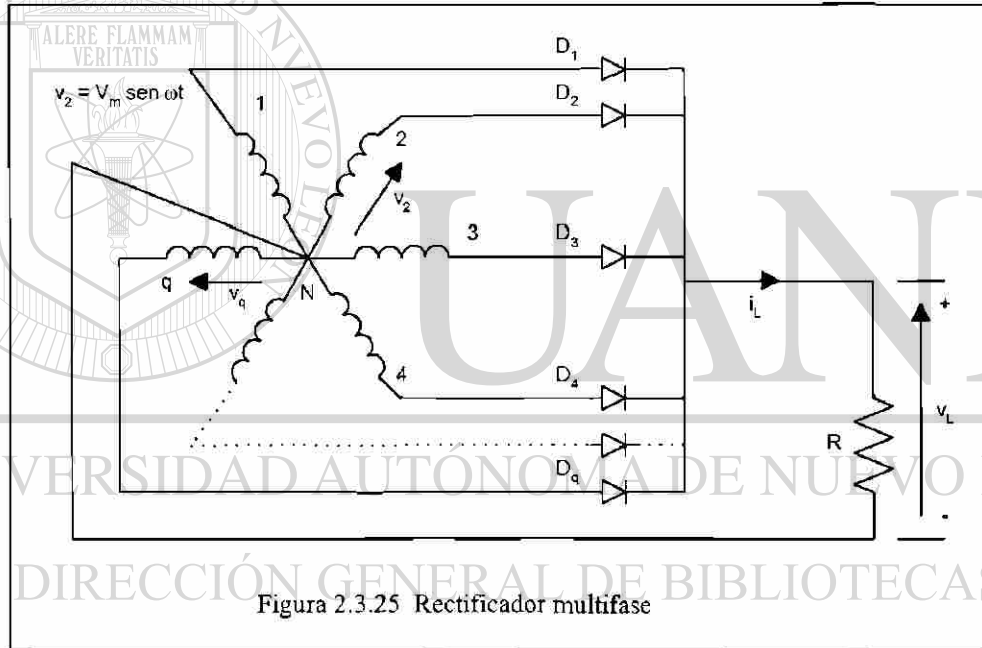


Figura 2.3.25 Rectificador multifase

$$R = 10\Omega, \quad V_m = 170V, \quad f = 60\text{ Hz}$$

Para un rectificador de seis fases en estrella  $q = 6$

$$V_{cd} = \frac{2}{2\pi/q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t \, d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi} = V_m \frac{q}{\pi} \operatorname{sen} \frac{\pi}{q}$$

$$V_{cd} = 170 (60/\pi) \operatorname{sen}(\pi/6) = 162.34\text{ V}$$

### 2.3.7 Los efectos de cargas RL y filtros

De acuerdo a la carga que se presente en un circuito rectificador estos presentaran cambios en su comportamiento y por lo tanto en los parámetros de rendimiento. Por lo que se analizan en este apartado, los puntos que mayor cambio tienen, y que nos afectan la eficiencia y la calidad de rectificación. Uno de estos parámetros es el factor armónico presente que puede estar del lado de la alimentación o bien del lado de la carga, el cual se puede atenuar o eliminar con filtros.

Los filtros para ser aplicados del lado de la carga pueden ser L, C, o LC. Si fueran aplicados en la alimentación de CA estos deberán ser del tipo LC.

En algunos circuitos de rectificación se presentan inductancias tanto del lado de la alimentación como de lado de la carga y el comportamiento de las gráficas de Voltaje y de corriente en los diferentes puntos del circuito presentan mucho cambio, se recomienda que se utilice la simulación de este circuito en MATLAB o PSPICE que se encuentra en el apartado de PROGRAMAS DE SIMULACION, no sin dejar de hacer los cálculos en los problemas resueltos que se presentan de los circuitos de rectificación con diferentes tipos de cargas.

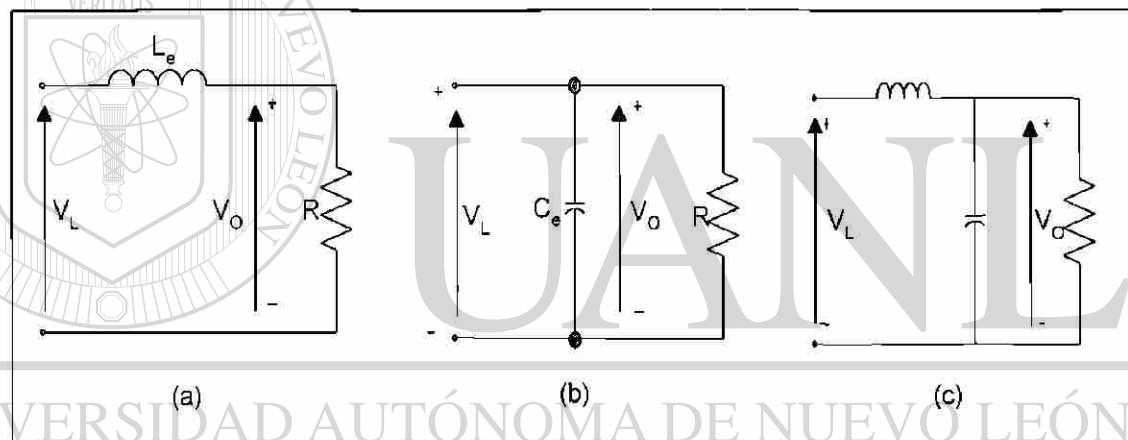


Figura 2.3.26 Filtro CD

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

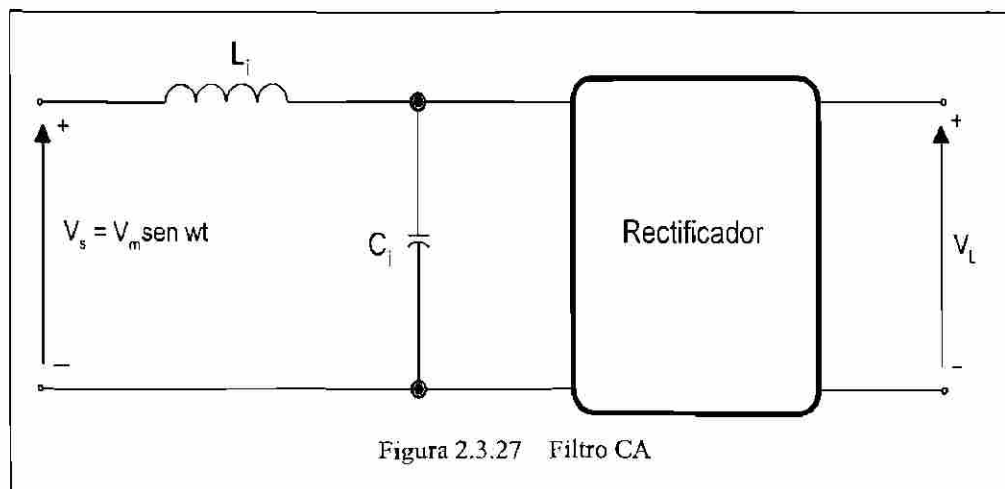


Figura 2.3.27 Filtro CA



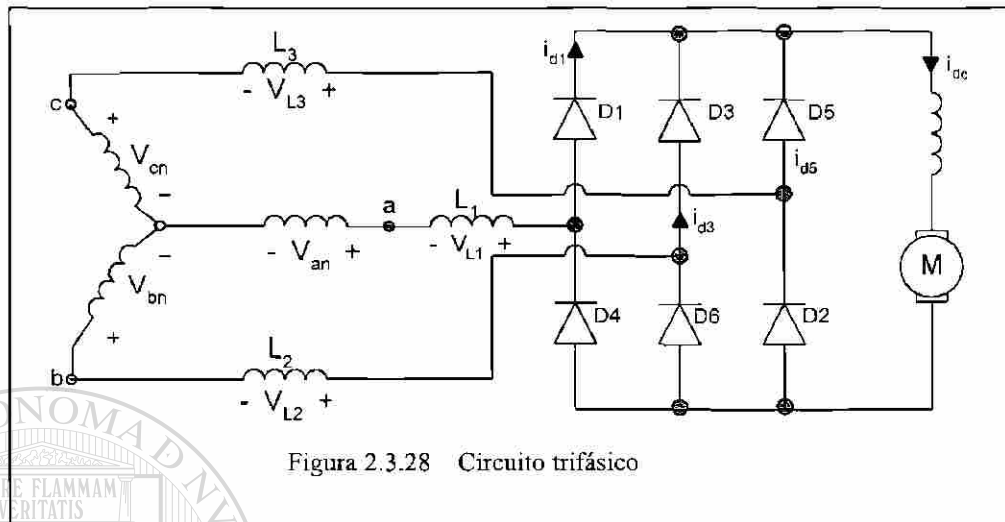


Figura 2.3.28 Circuito trifásico

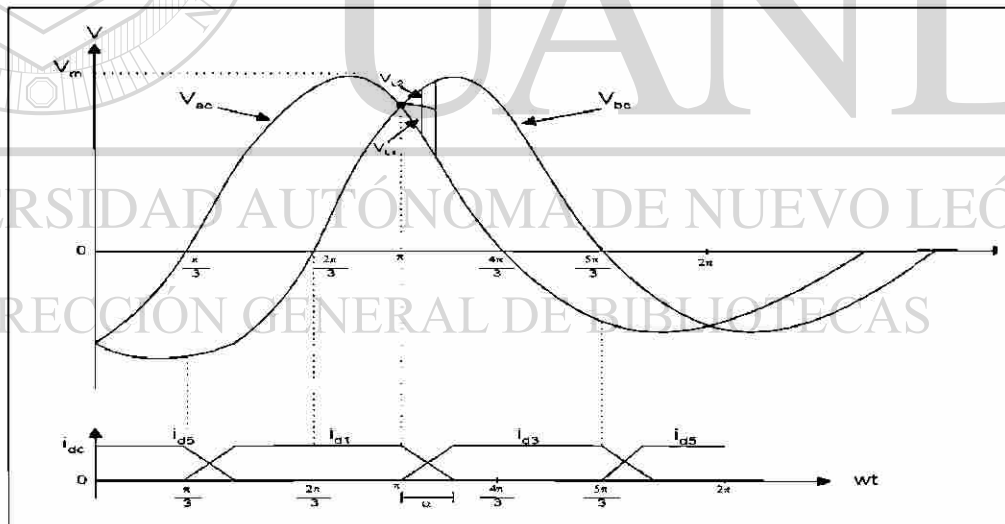


Figura 2.3.29 Curva

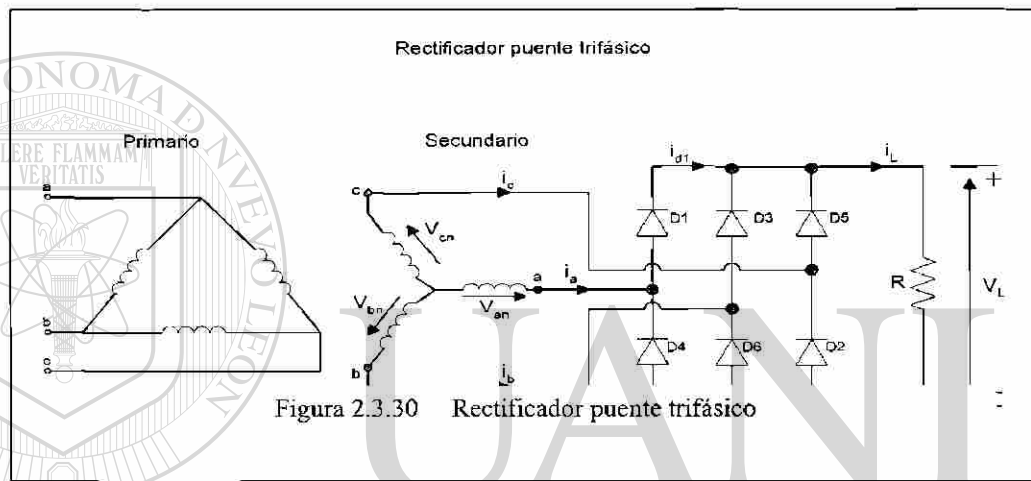
### Problema para resolver con Pspice

El rectificador trifásico de onda completa de la figura 2.3.30 a tiene una carga  $L=2.5\text{ mH}$ ,  $R=5\Omega$  y  $E=20\text{V}$ . El voltaje de entrada, línea a línea es  $V_{ab}=208\text{ V}$ ,  $60\text{Hz}$ .

(a) Determine

- (1) la corriente de carga en régimen permanente  $I_1$  a  $\omega t=\pi/3$ ,
- (2) la corriente promedio de diodo  $I_d$ ,
- (3) la corriente rms de diodo  $I_r$  y
- (4) la corriente rms de salida  $I_{rms}$ .

(b) Utilice PSpice para graficar la corriente instantánea de salida  $i_L$ . Suponga los parámetros de diodo  $I_S=2.22\text{E-}15$ ,  $BV=1800\text{V}$ .



(a)  $R = 5\Omega$ ,  $L = 2.5\text{mH}$ ,  $f = 60\text{Hz}$ ,  $\omega = 2\pi * 60 = 377\text{rad/s}$   
 $V_{ab} = 208\text{V}$ ,  $z = [R^2 + (\omega L)^2]^{1/2} = 5.09\Omega$ , y  $\theta = \tan^{-1}(\omega L/R) = 10.67^\circ$

- 1.- El estado inicial de la corriente de carga es  $t = \pi/3$ ,  $I_1 = 50.6\text{ A}$ .
- 2.- La integración numérica de  $i_L$  en la ecuación (3.84) cambia la corriente promedio del diodo como  $I_d = 17.46\text{ A}$ . Desde  $I_1 > 0$ , la corriente de carga es continua.
- 3.- Con la integración numérica de  $i_L^2$  entre los límites  $\omega t = \pi/3$  to  $2\pi/3$ , encontramos la corriente del diodo como  $I_r = 30.2\text{ A}$ .
- 4.- La corriente de salida rms  $I_{rms} = \sqrt{3}I_r = \sqrt{3} \times 30.2 = 52.31\text{A}$ .

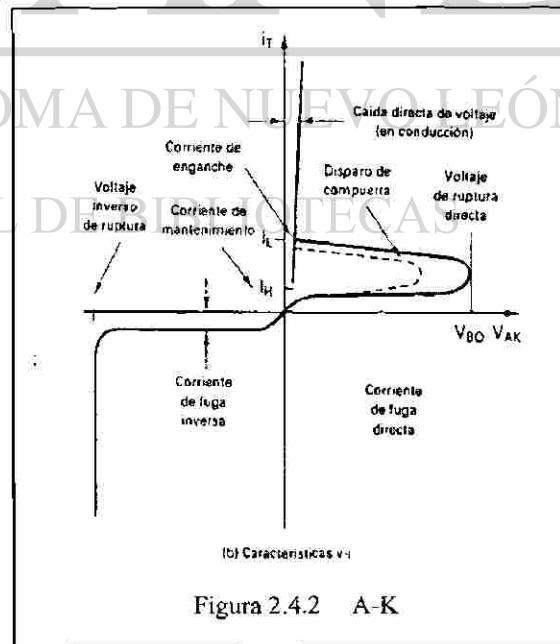
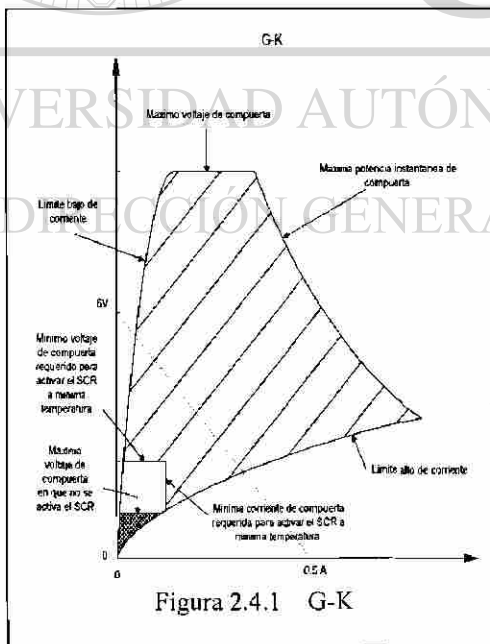
## 2.4 Tiristores

### 2.4.1 Antecedentes

El SCR o TIRISTOR es un dispositivo semiconductor de potencia, el cual es considerado como un interruptor conmutador o un elemento que puede estar en un estado de no-conducción o en conducción, considerándolo como interruptor ideal para situaciones de análisis. Hay una evolución en estos elementos con características mejoradas de los cuales se analizan en esta los más similares al SCR en esta sección.

### 2.4.2 Características de los tiristores

El SCR es un elemento de cuatro capas con tres terminales A, K y G que corresponden al ánodo, cátodo y compuerta respectivamente. En las figuras se muestra el símbolo del SCR y dos gráficas de Voltaje-Corriente, una para A-K y otro por G-K, con los cuales nos apoyaremos para la explicación de la forma de actuar del SCR, ya que se analiza el bloqueo en polarización directa e inversa, también sus corrientes de fuga, de voltajes de ruptura directa e inversa, activación para compuerta, caída de voltaje en conducción, corriente de enclavamiento y de sostenimiento.



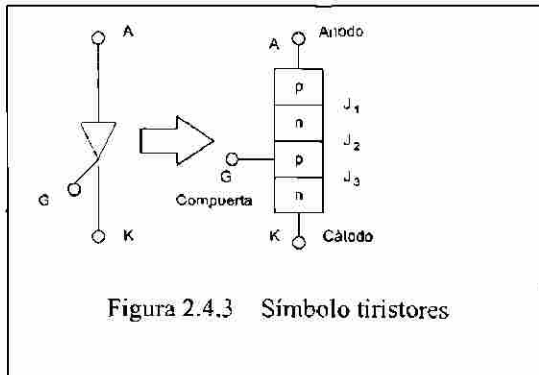


Figura 2.4.3 Símbolo tiristores

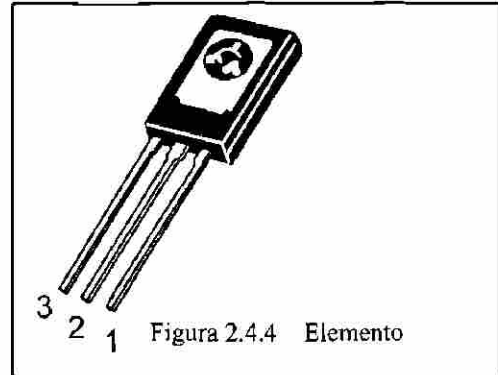


Figura 2.4.4 Elemento

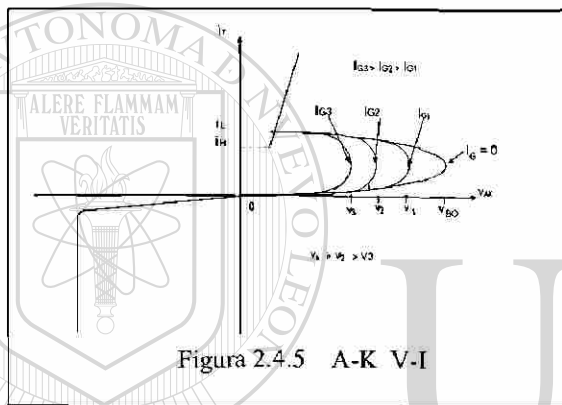


Figura 2.4.5 A-K V-I

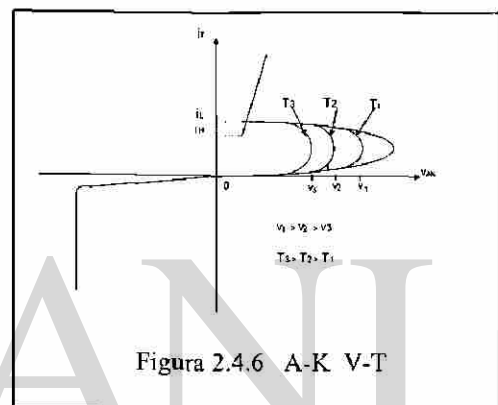


Figura 2.4.6 A-K V-T

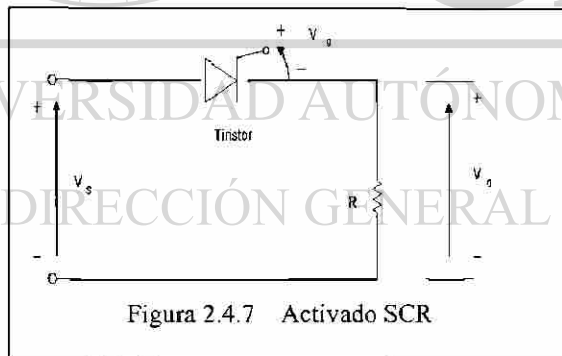


Figura 2.4.7 Activado SCR

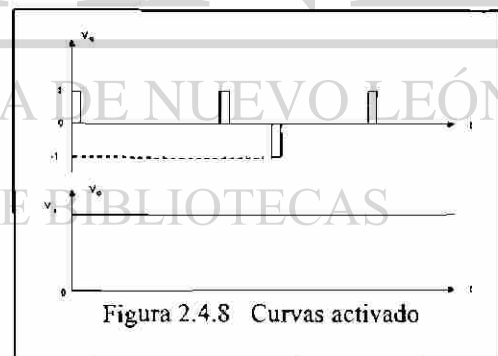


Figura 2.4.8 Curvas activado

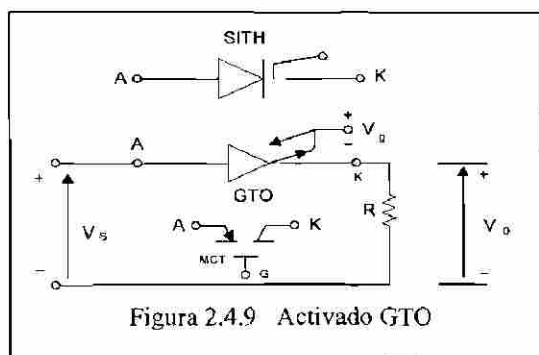


Figura 2.4.9 Activado GTO

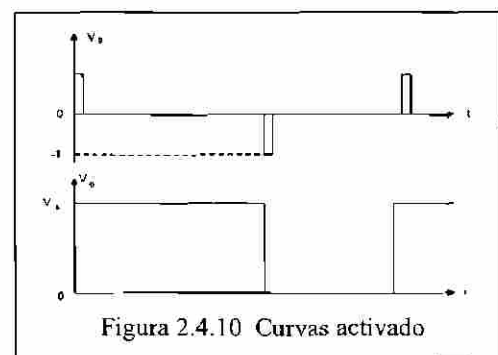


Figura 2.4.10 Curvas activado

### 2.4.3 Tipos de Activación y circuitos para activación del SCR.

Existen varias formas de activar los SRC como son: Térmica, Luz, Alto voltaje,  $dV/dT$ , y aplicación de señal en la compuerta. Nuevamente nos basamos en las tablas para explicar adecuadamente cada una de los principios para activar el SCR.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS					
Características	Simbolo	Min	tipo	Max	unidad
<b>CARACTERÍSTICAS DE APAGADO</b>					
$(V_{AK} = \text{Rated } V_{DRM} \text{ or } V_{PRM}, R_{GK} = 1000 \text{ Ohms}) T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 110^\circ\text{C}$	$I_{DRM} - I_{PRM}$	-	-	10 100	$\mu\text{A}$
<b>CARACTERÍSTICAS DE ENCENDIDO</b>					
$(I_{FM} = 1 \text{ A Peak for C106B, D, \& M})$ $(I_{FM} = 4 \text{ A Peak for C106D1, \& M1})$	$V_{FM}$	-	-	2.2	Volts
$(V_{AK} = 6 \text{ Vdc}, R_G = 100 \text{ Ohms})$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40^\circ\text{C}$	$I_{GT}$	-	15 35	200 500	$\mu\text{A}$
Peak Reverse Gate Voltage ( $I_{GR} = 10 \mu\text{A}$ )	$V_{GRV}$	-	-	6.0	Volts
$(V_{AK} = 6 \text{ Vdc}, R_G = 100 \text{ Ohms})$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40^\circ\text{C}$	$V_{GT}$	0.4 0.5	.60 .75	0.8 1.0	Volts
$(V_{AK} = 12 \text{ V}, R_G = 100 \text{ Ohms}, T_J = 110^\circ\text{C})$	$V_{GD}$	0.2	-	-	Volts
$(V_{AK} = 12 \text{ V}, I_G = 20 \text{ mA})$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40^\circ\text{C}$	$I_L$	-	.20 .35	5.0 7.0	mA
Holding Current ( $V_{GK} = 12 \text{ Vdc}$ ) (Initiating Current = 20 mA, Gate Open) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40^\circ\text{C}$ $T_J = +110^\circ\text{C}$	$I_H$	-	.19 .33 .07	3.0 6.0 2.0	mA
<b>CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS</b>					
$(V_{AK} = \text{Rated } V_{DRM}, R_{GK} = 1000 \text{ Ohms}, T_J = 110^\circ\text{C})$	$dv/dt$	-	8.0	-	V/ $\mu\text{s}$

Tabla 2.4.11 Características

Rangos	Simbolo	Valor	Unidades
Picos Repetitivos en estado de Voltaje <sup>1H</sup> (Onda seno, 50-60 Hz, $R_{GK} = 1 \text{ k}\Omega$ , $T_C = -40^\circ \text{ to } 110^\circ\text{C}$ )	$V_{PRM}$ $V_{FRM}$	200 400 600	Volts
Activado Corriente RMS (180° Angulo Conduccion, $T_C = 80^\circ\text{C}$ )	$I_{TRMS}$	4.0	Amps
Corriente promedio activado el SCR (180° Angulo Conduccion, $T_C = 80^\circ\text{C}$ )	$I_{TAV}$	2.55	Amps
Picos no repetitivos de la $I_G$ de surge (1/2 Ciclo, Onda seno, 60 Hz, $T_J = +110^\circ\text{C}$ )	$I_{ISM}$	20	Amps
Consideración de fusión del circuito	$I^2T$	1.65	A <sup>2</sup> s
Picos de potencia en la compuerta (Ancho de pulso $\leq 1.0 \mu\text{sec}$ , $T_C = 80^\circ\text{C}$ )	$P_{GM}$	0.5	Watts
Potencia promedio en la compuerta (Ancho de pulso $\leq 1.0 \mu\text{sec}$ , $T_C = 80^\circ\text{C}$ )	$P_{GM(AV)}$	0.1	Watts
Picos de corriente en la compuerta (Ancho de pulso $\leq 1.0 \mu\text{sec}$ , $T_C = 80^\circ\text{C}$ )	$I_{GM}$	0.2	Amp
Rango de temperatura en la unión	$T_J$	-40 to +110	$^\circ\text{C}$
Rango de temperatura de almacenaje	$T_{stg}$	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Torque de Montaje	-	6.0	in. lb.

Tabla 2.4.12 Rangos

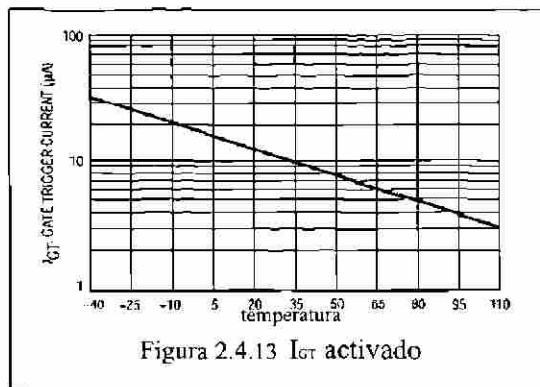


Figura 2.4.13  $I_{GT}$  activado

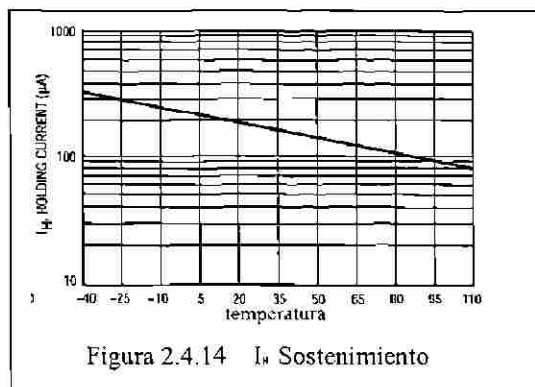
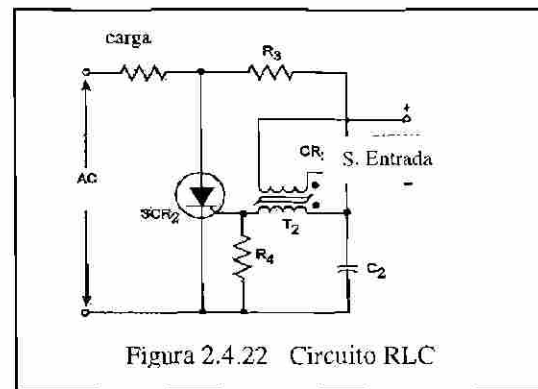
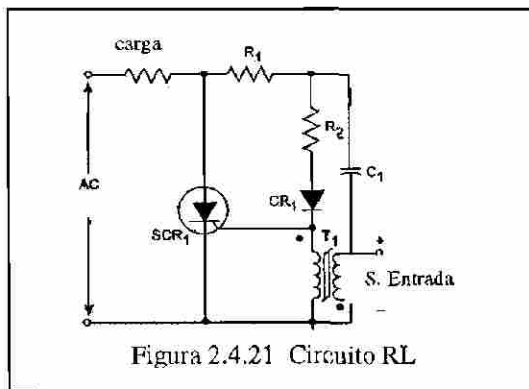
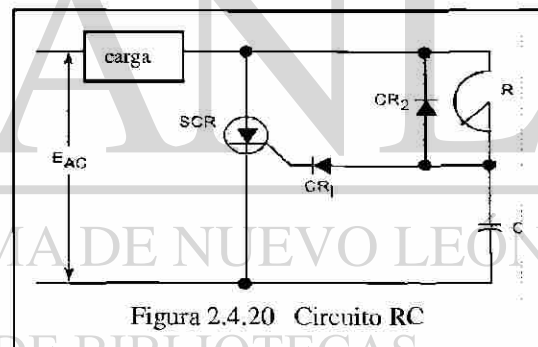
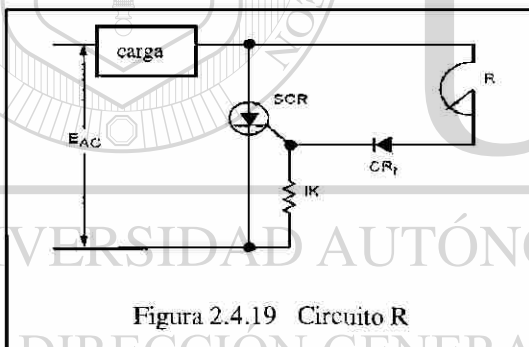
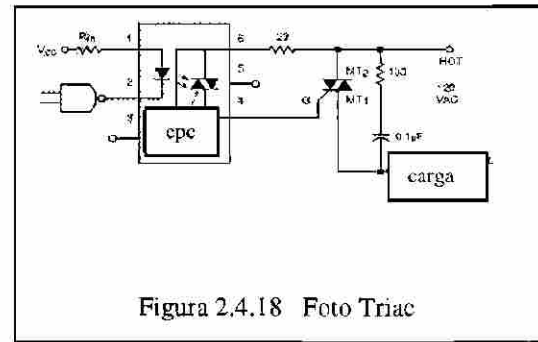
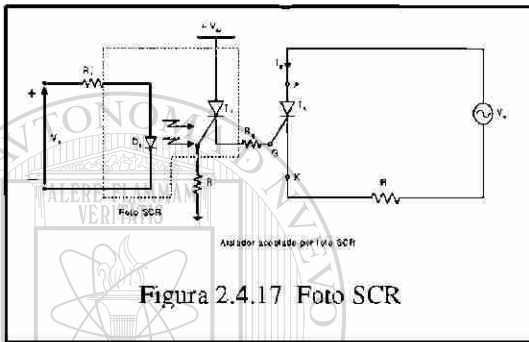
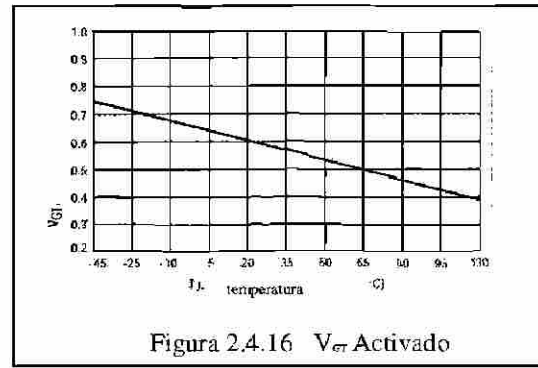
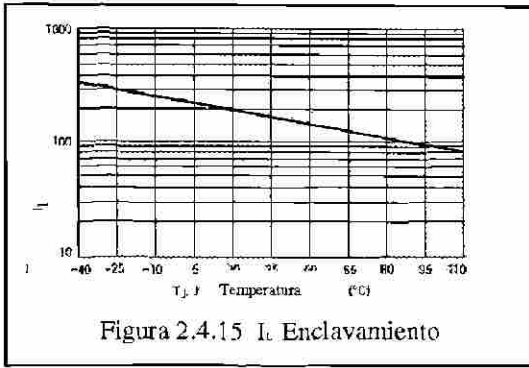
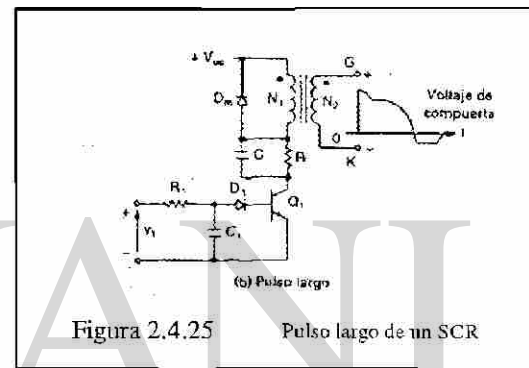
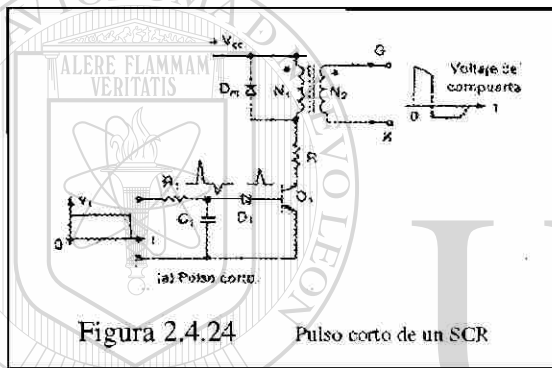
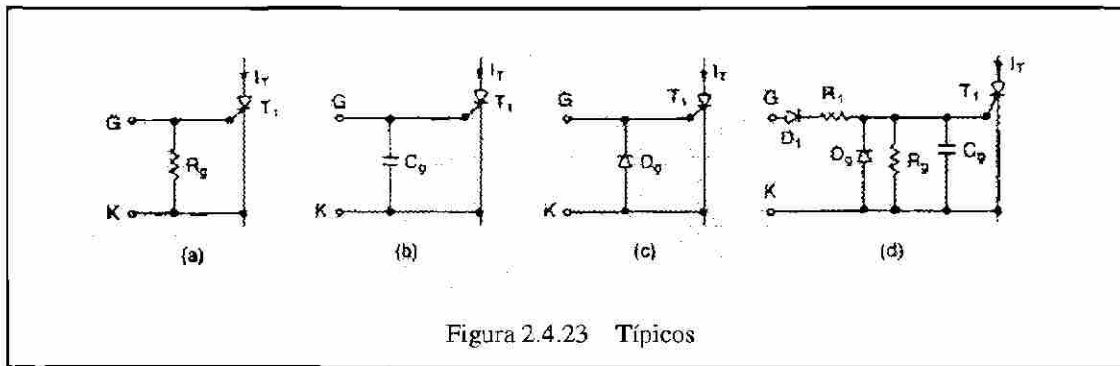
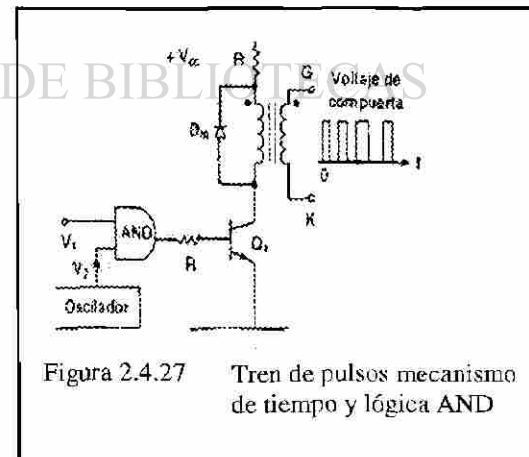
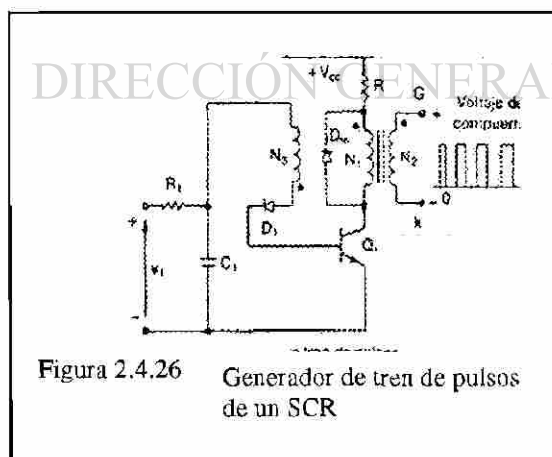


Figura 2.4.14  $I_H$  Sostenimiento





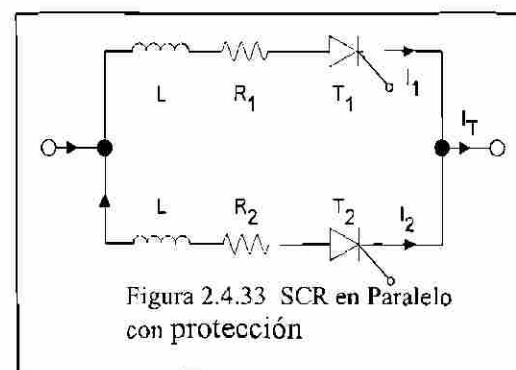
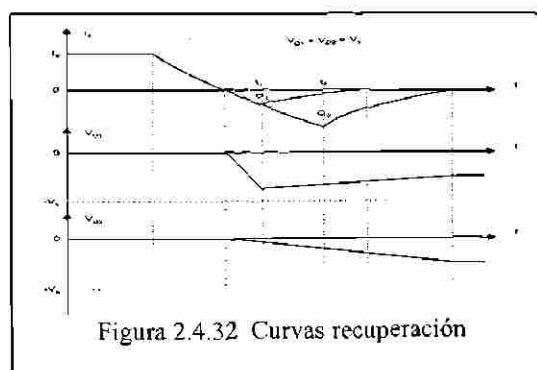
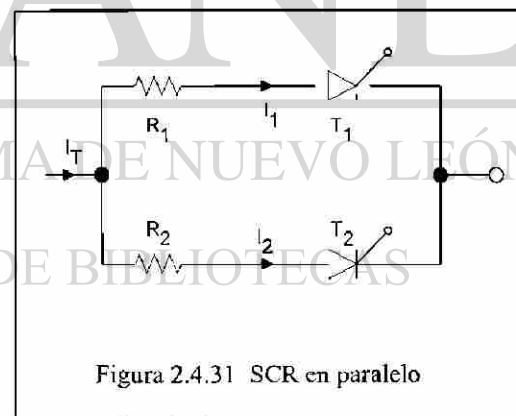
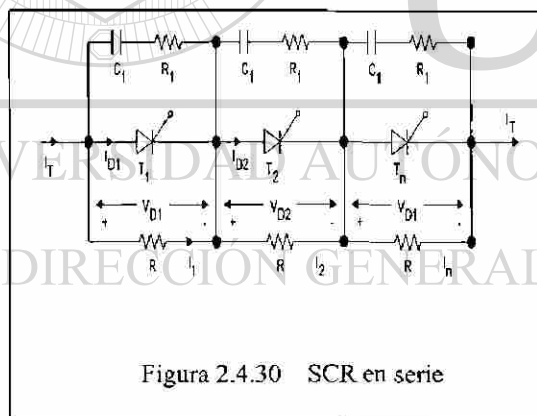
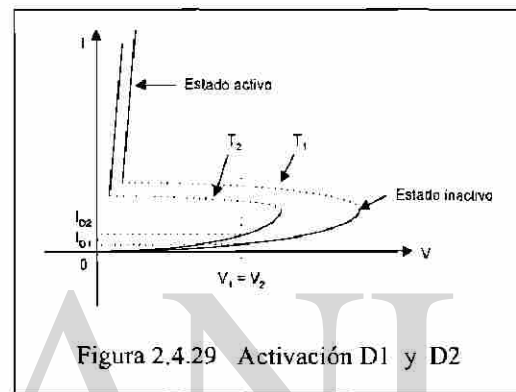
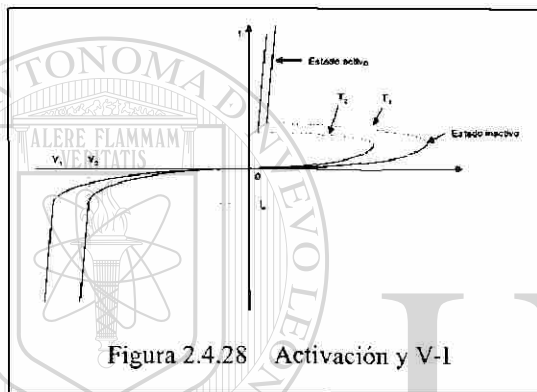
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



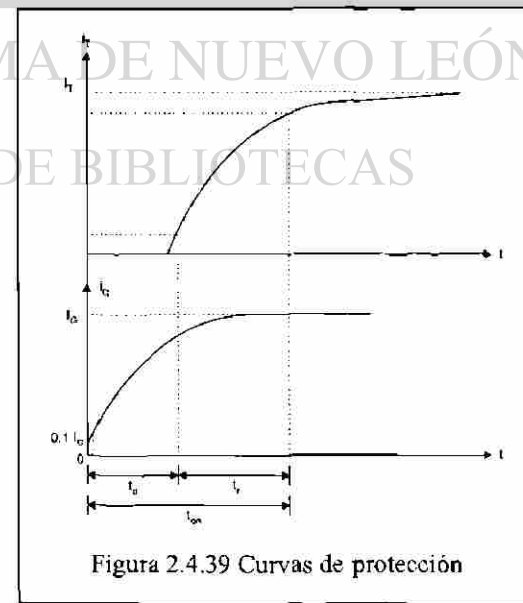
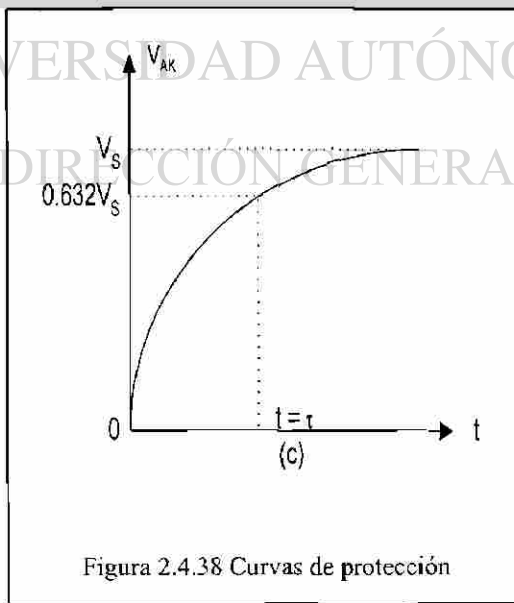
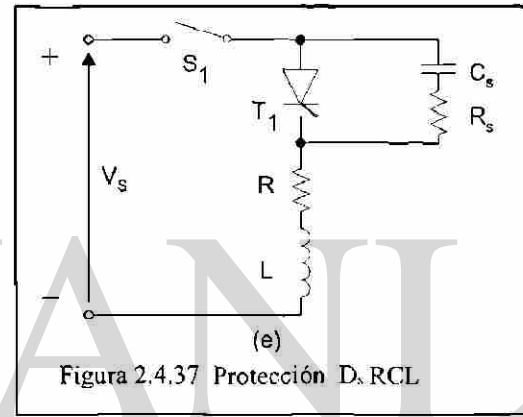
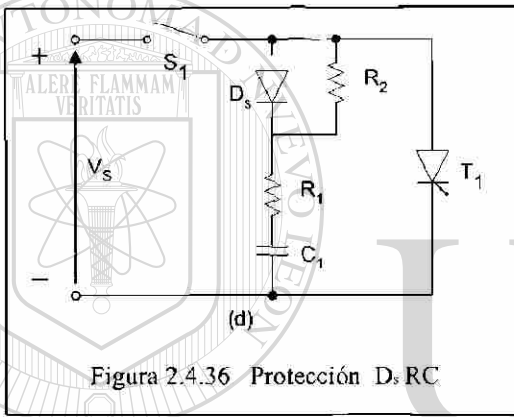
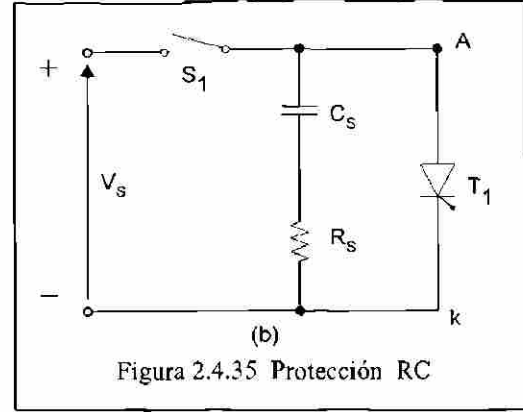
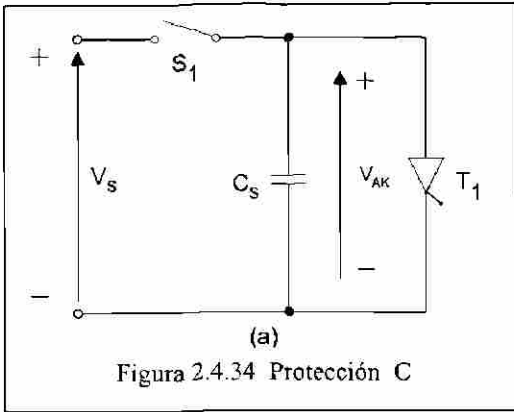
### 2.4.4 Tiristores conectados en serie o en paralelo

Tal como se trató el tema de diodos en serie y en paralelo, para el manejo de más corriente y voltaje, es necesario proteger los elementos de potencia de los convertidores o rectificadores controlados para evitar que se activen involuntariamente o que se dañen por los transitorios de voltaje y de corriente aquí lo aplicaremos en forma similar a como se trabajo con los diodos.

A continuación se presentan gráficas y circuitos, además de algunos problemas donde calculamos los elementos necesarios para la protección bien sea de  $di/dt$  o bien  $dv/dt$ .



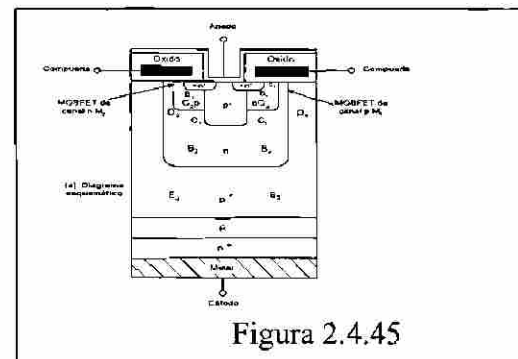
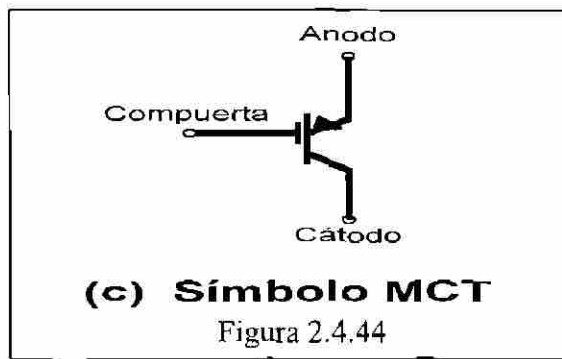
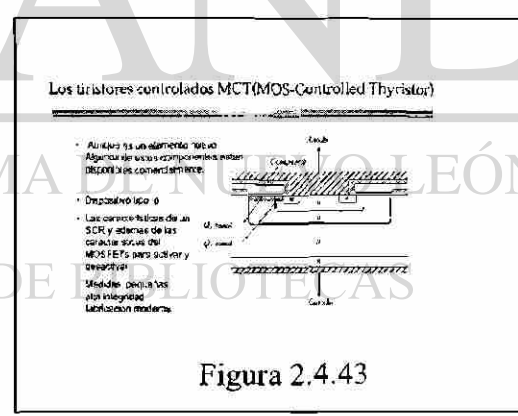
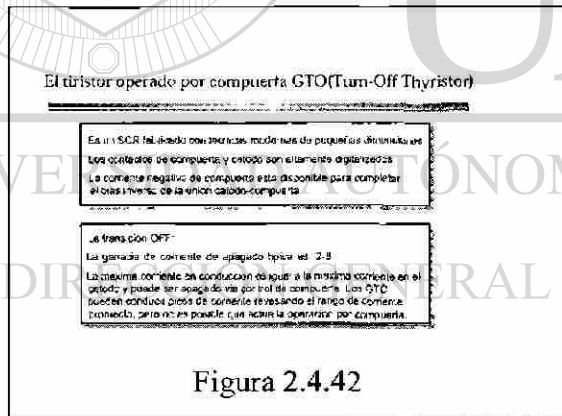
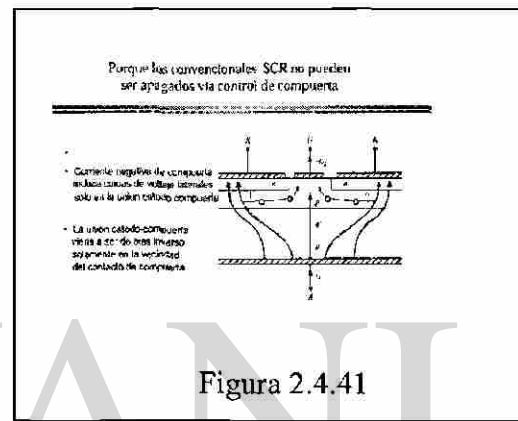
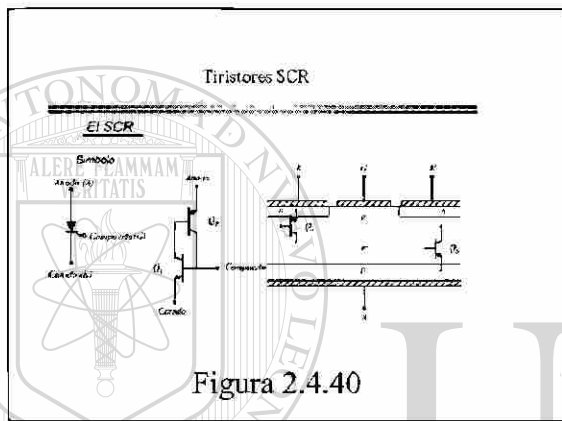




### 2.4.5 Otros tiristores similares al SCR

A pesar de tener grandes capacidades de manejo de potencia el SCR, conforme ha avanzado la tecnología, se han acrecentado las necesidades a cubrir, como es el caso de tener un elemento que podamos activar y desactivar cuando se requiera, otra necesidad es la de que tenga una velocidad de activación mayor.

A continuación se presentan representaciones esquemáticas para explicar y comparar estos elementos con el SCR que lo superan en algunas funciones pero que a la fecha no cubren las capacidades de potencia de este.



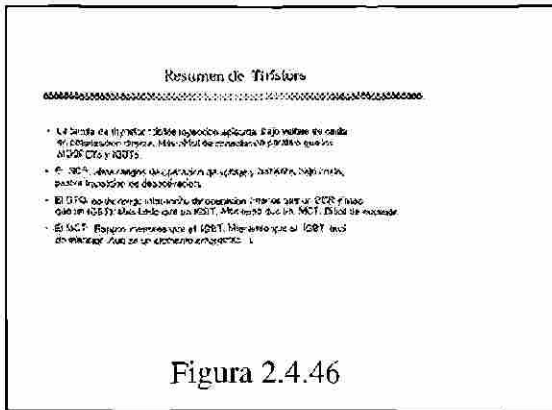


Figura 2.4.46

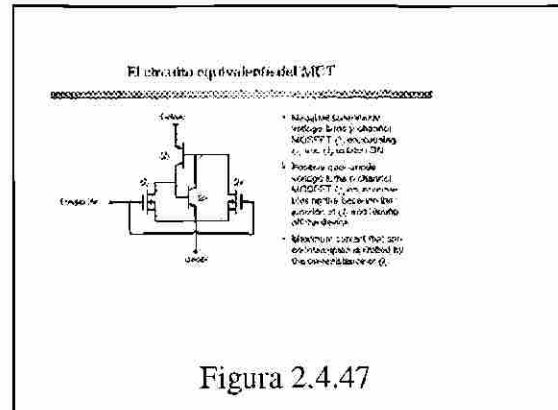
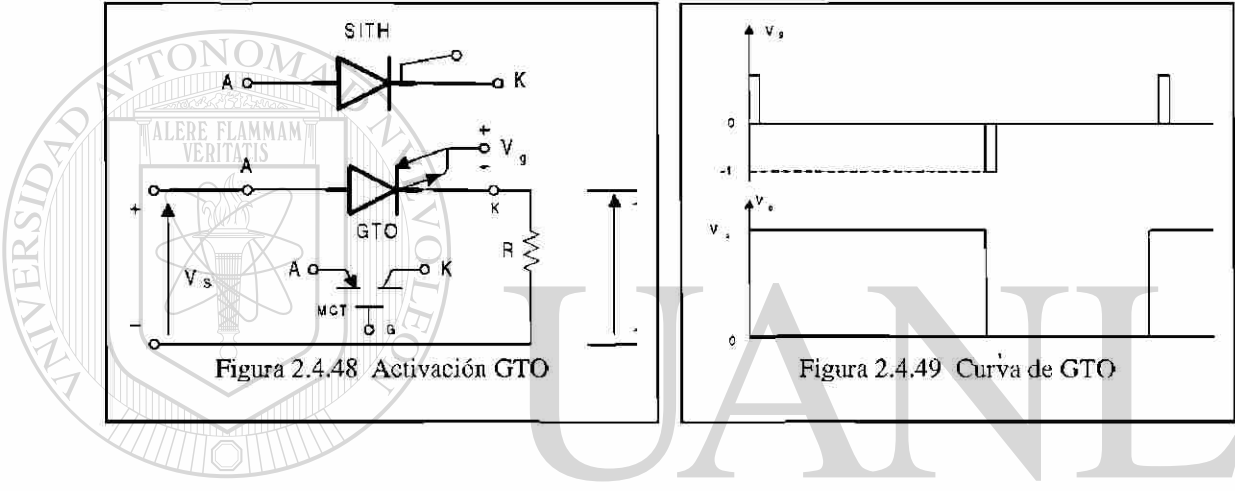
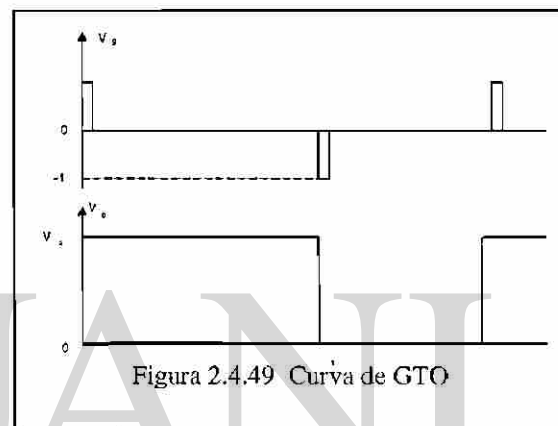
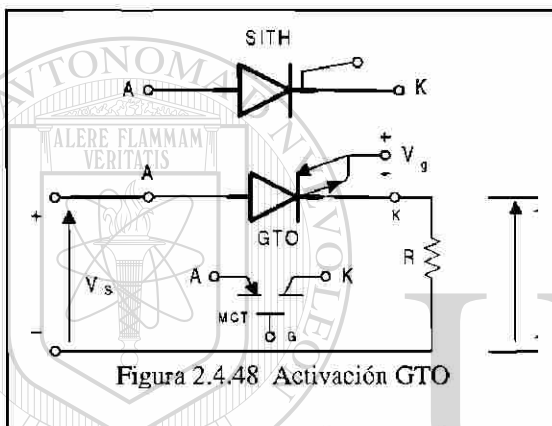


Figura 2.4.47



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.4.6 Elementos que generan señal para activar los Tiristores

Dentro de estos tipos de elementos, hay una variedad considerable, pero de las que analizamos aquí son el PUT que son los más ampliamente actualizados y que aún se encuentran en venta, ya que la tendencia es a generar la señal de compuerta con otros tipos de dispositivos, tales como microprocesadores o algún otro tipo de dispositivos semiconductor integrado.

Aquí analizamos términos como son:  $I_{pico}$ ,  $I_{valle}$ ,  $V_{pico}$ ,  $V_{valle}$ . región de corte, región de resistencia negativa, región de saturación, región de neutralización o equilibrio, y además se analizarán los circuitos típicos de aplicación de estos elementos y se presentan problemas para calcular de elementos o utilizar en circuitos.

Enseguida se presentan gráficas de los símbolos de elementos, circuitos y problemas típicos.

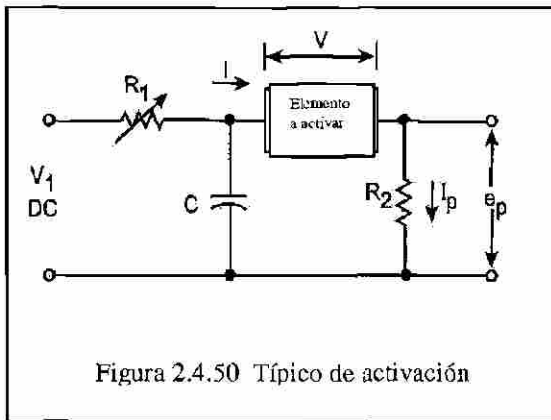


Figura 2.4.50 Típico de activación

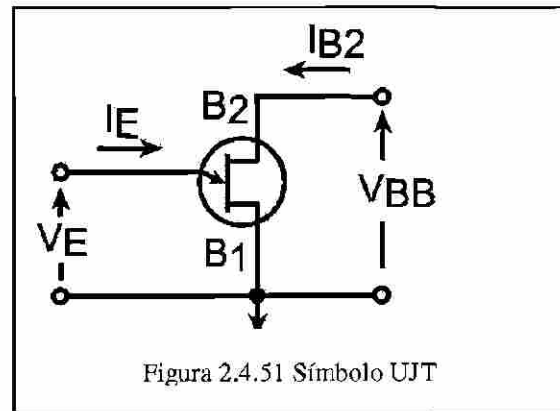


Figura 2.4.51 Símbolo UJT

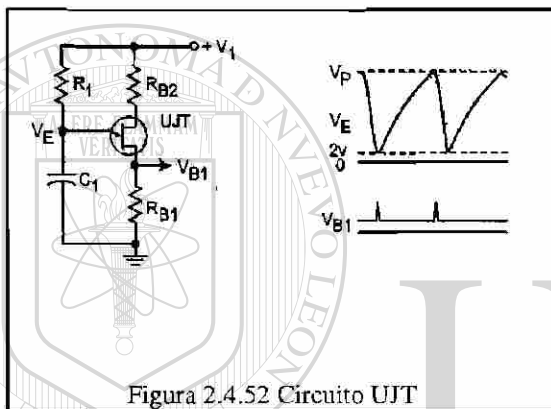


Figura 2.4.52 Circuito UJT

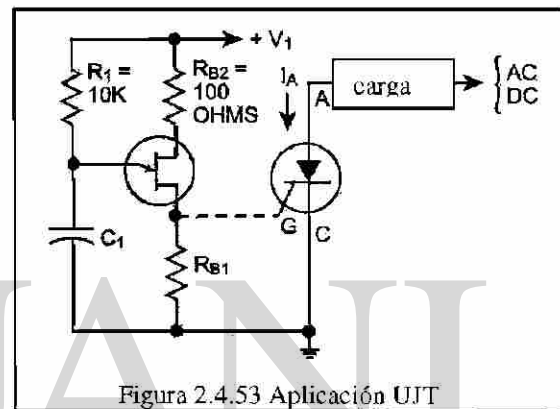


Figura 2.4.53 Aplicación UJT

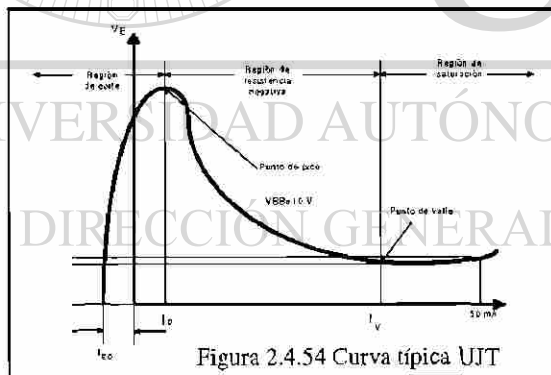


Figura 2.4.54 Curva típica UJT

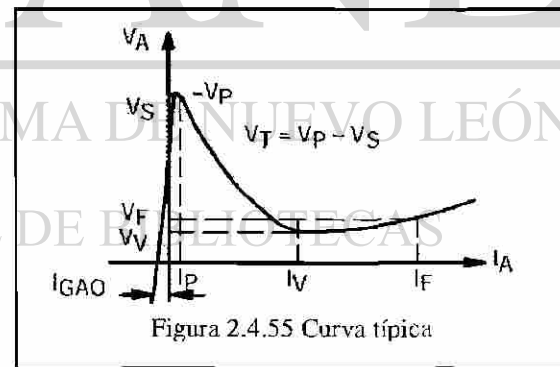


Figura 2.4.55 Curva típica

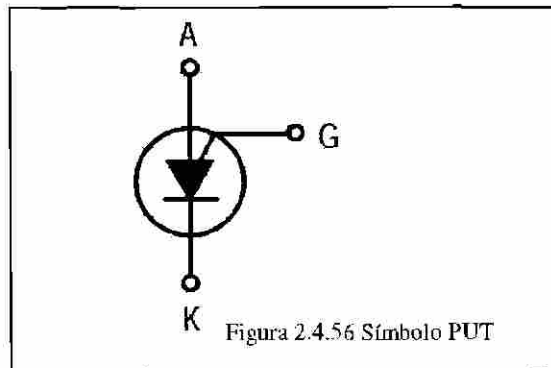


Figura 2.4.56 Símbolo PUT

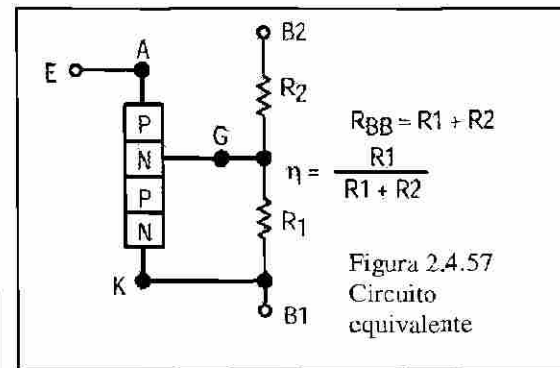
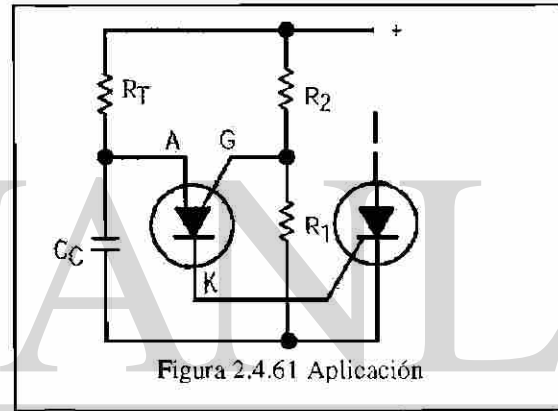
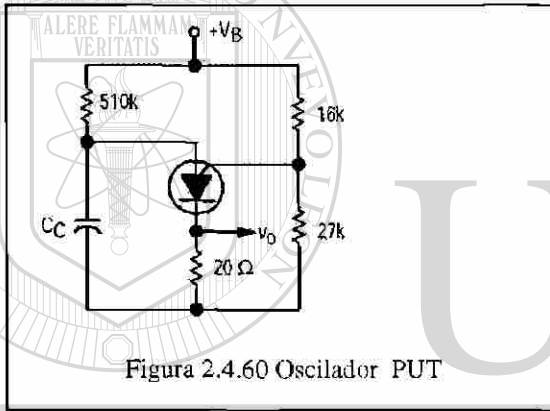
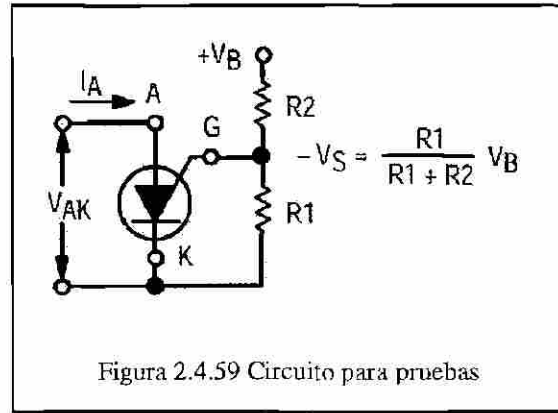
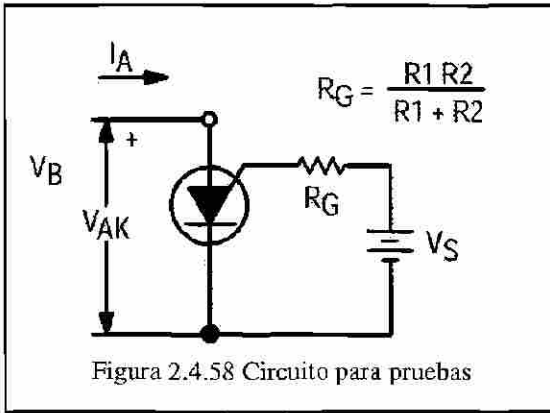
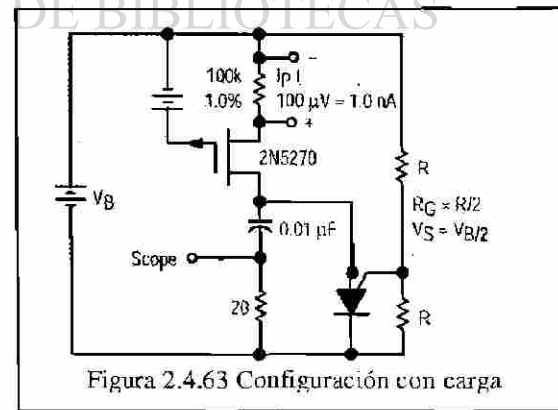
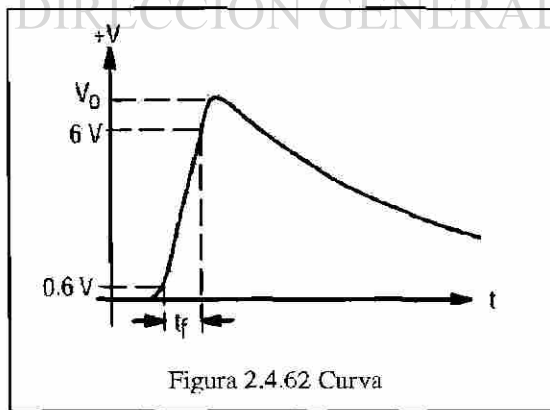


Figura 2.4.57 Circuito equivalente



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





## 2.5 CONVERTIDORES

### 2.5.1 Antecedentes

Al igual que en los otros temas debemos de tener algunas clasificaciones y consideraciones para una mejor comprensión. Cuando vemos el tema de diodos y posteriormente el de rectificación, se comento que era del tipo no controlado.

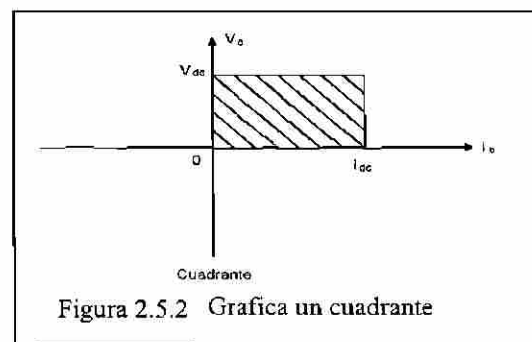
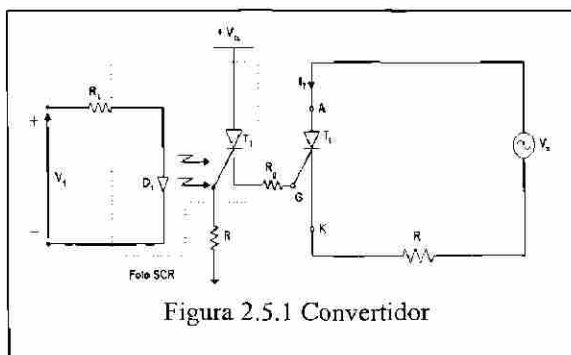
En este tema que trataremos que es el de convertidores de fase analizaremos la rectificación controlada en la que podemos controlar el ángulo de conducción para obtener la potencia deseada.

### 2.5.2 Clasificación y consideraciones

Referente a la clasificación, podemos tener rectificación monofásica y trifásica de  $\frac{1}{2}$  y onda completa. Con la ventaja actual de retrasar el ángulo de activación. Dentro de la clasificación de acuerdo a su operación con la corriente y el voltaje tenemos tres tipos de curva, que son:

- Curva de un cuadrante es el que opera en  $I +$   $V +$
- Curva de dos cuadrantes son los que operan en  $I +$   $V +$  y  $V -$
- Curva de cuatro cuadrantes son los que operan en  $I +$  y  $I -$   $V +$  y  $V -$

Dentro de las consideraciones se tiende a estimar, que la inductancia de la carga es tan grande que la corriente, en esta, no tiene componentes ondulatorios y de esta forma nos evitamos hacer cálculos con series de Fourier, esto ultimo en los convertidores de dos y cuatro cuadrantes



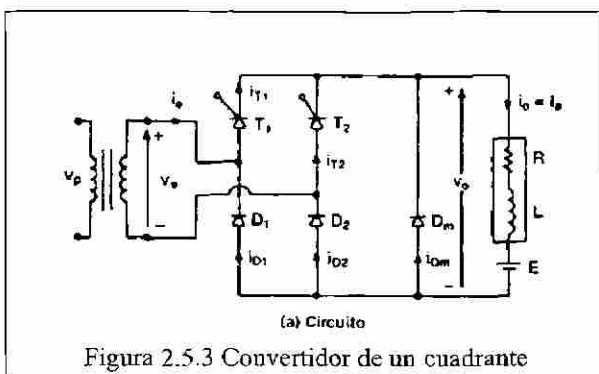


Figura 2.5.3 Convertidor de un cuadrante

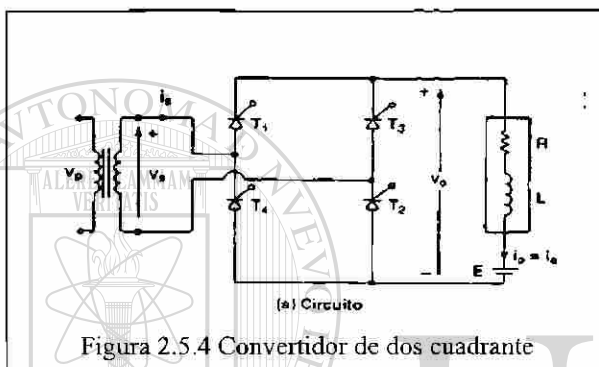


Figura 2.5.4 Convertidor de dos cuadrante

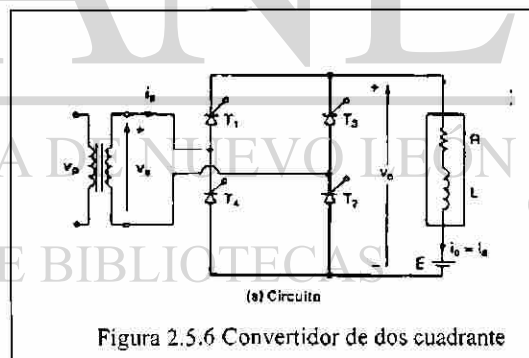
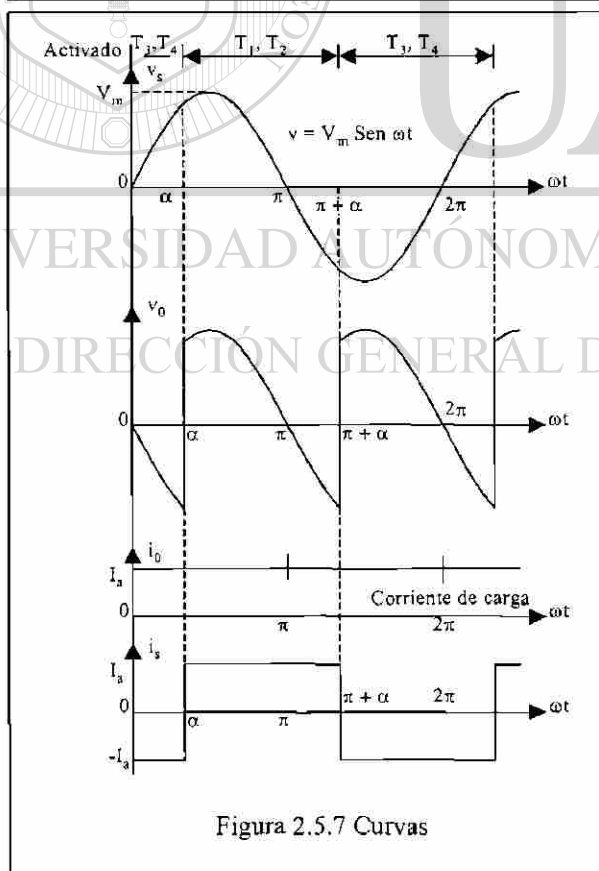
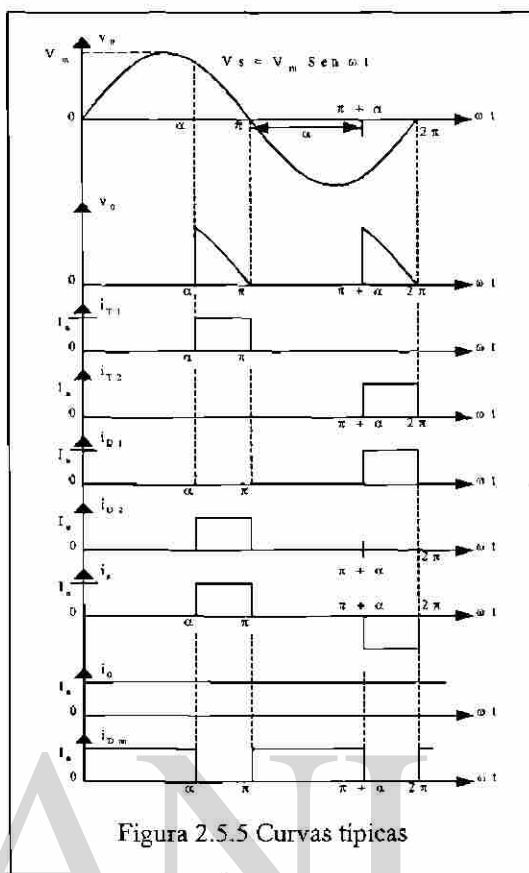
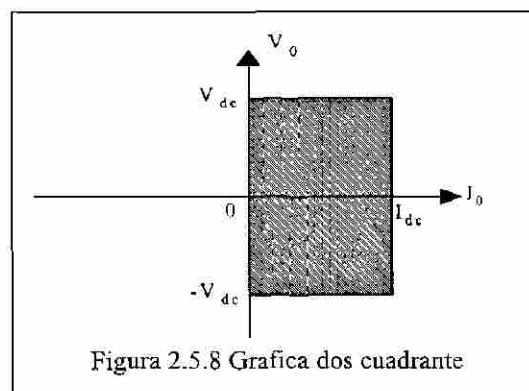


Figura 2.5.6 Convertidor de dos cuadrante





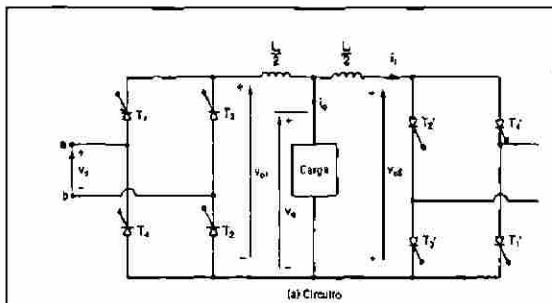


Figura 2.5.9 Convertidor 4 cuadrantes

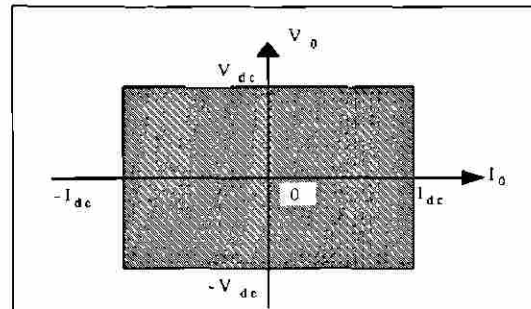


Figura 2.5.10 Grafica 4 cuadrantes

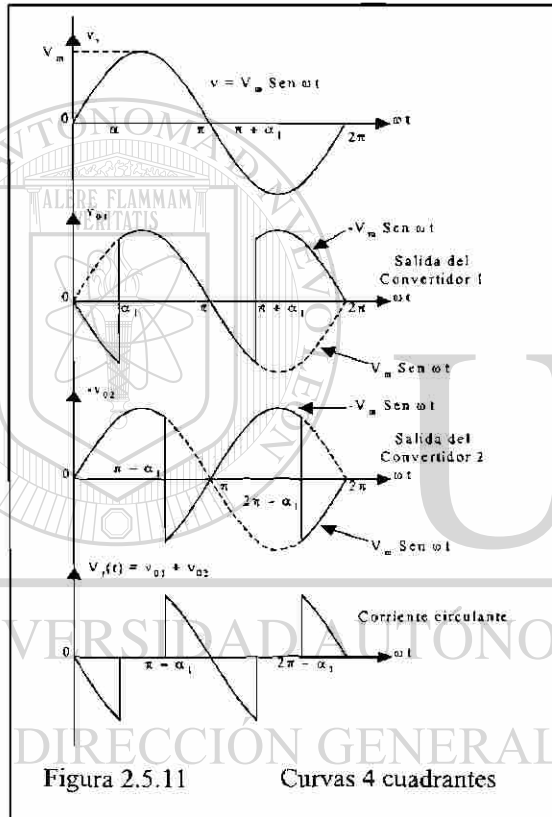


Figura 2.5.11 Curvas 4 cuadrantes

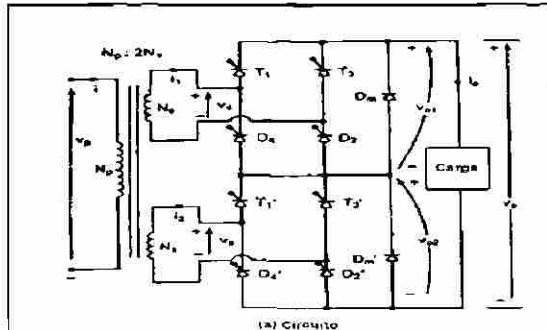


Figura 2.5.12 Serie 1 cuadrantes

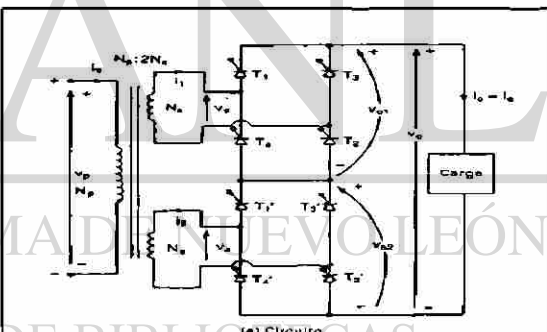


Figura 2.5.13 Serie 2 cuadrantes

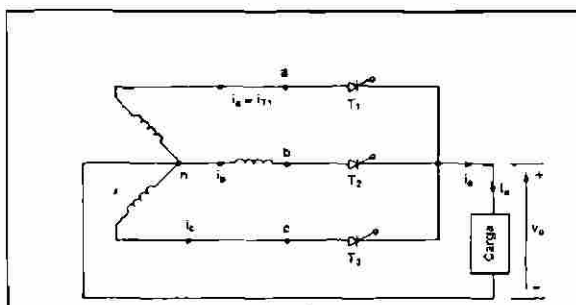


Figura 2.5.14 Trifásico 1/2 onda un cuadrante

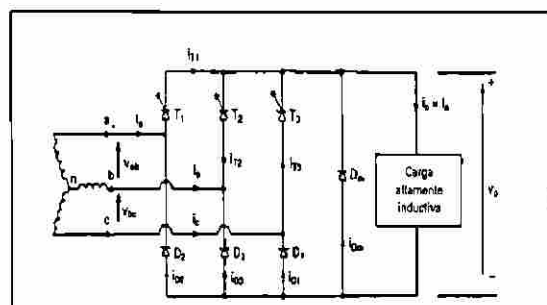


Figura 2.5.15 Trifásico onda completa un cuadrante

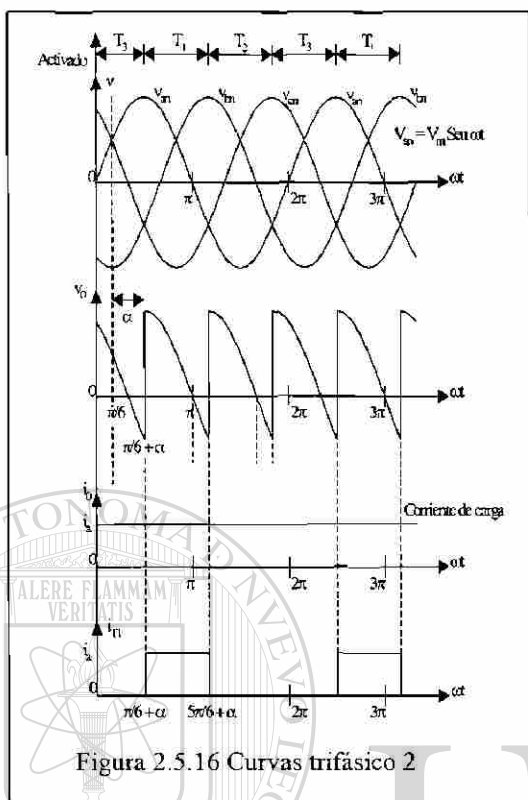


Figura 2.5.16 Curvas trifásico 2

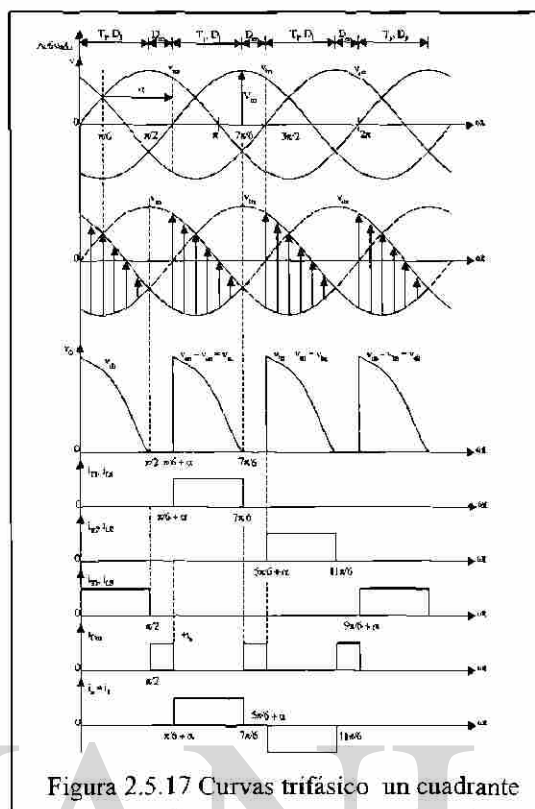


Figura 2.5.17 Curvas trifásico un cuadrante

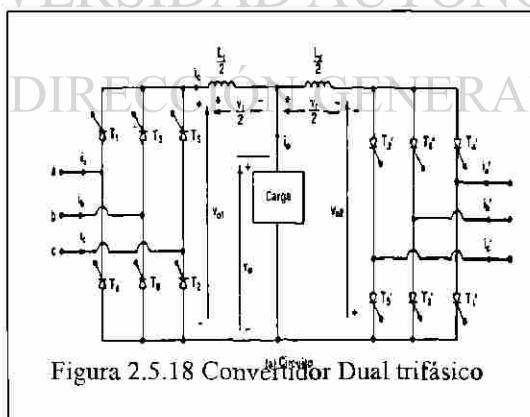


Figura 2.5.18 Convertidor Dual trifásico

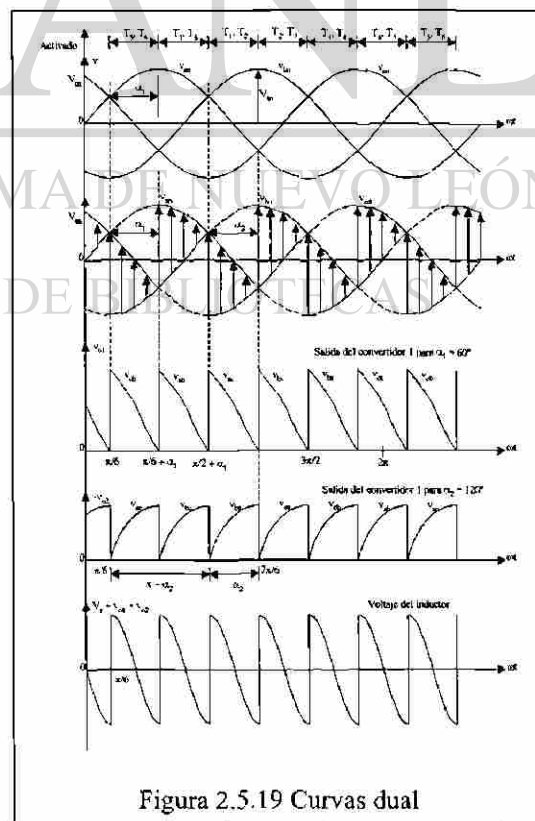
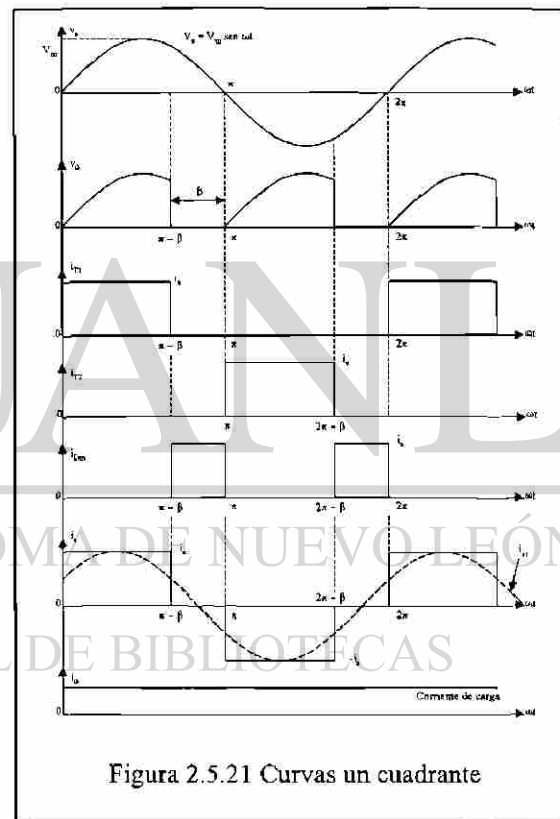
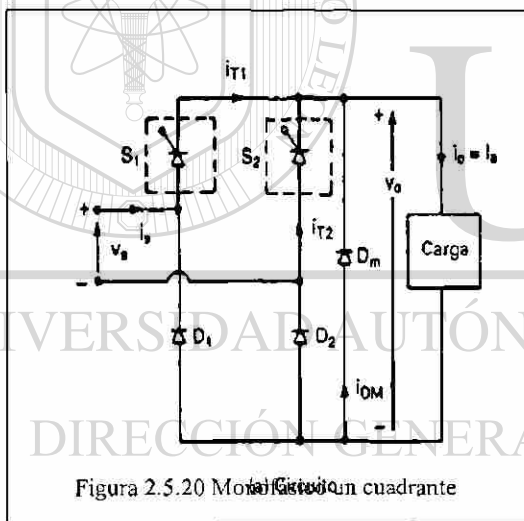


Figura 2.5.19 Curvas dual

### 2.5.3 Otros Tiristores y circuitos de control en convertidores

Como ya lo vimos en el tema de tiristores el retraso en el ángulo de conducción nos ocasiona armónicas dentro y fuera del equipo a operar, además de disminuir el FP y para mejorar estos factores, uno de los procedimientos es el uso de tiristores. Con características mejoradas como son: GTO, MCT, SITH.

Los procedimientos que se utilizaron son: el de ángulo de extinción, el de ángulo de conducción, modulator de ancho de pulso y el modulator senoidal de ancho de pulso. Cada uno de estos es más simple observándolo y comprenderlo en las siguientes figuras. Además en estos sistemas de control, es necesario aplicar los filtros a la entrada y a la salida, similar a lo que se vio de los filtros en circuitos rectificadores con diodos.



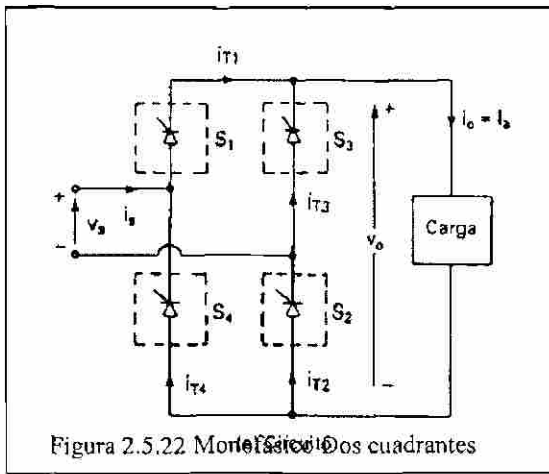


Figura 2.5.22 Modelo de un inversor de dos cuadrantes

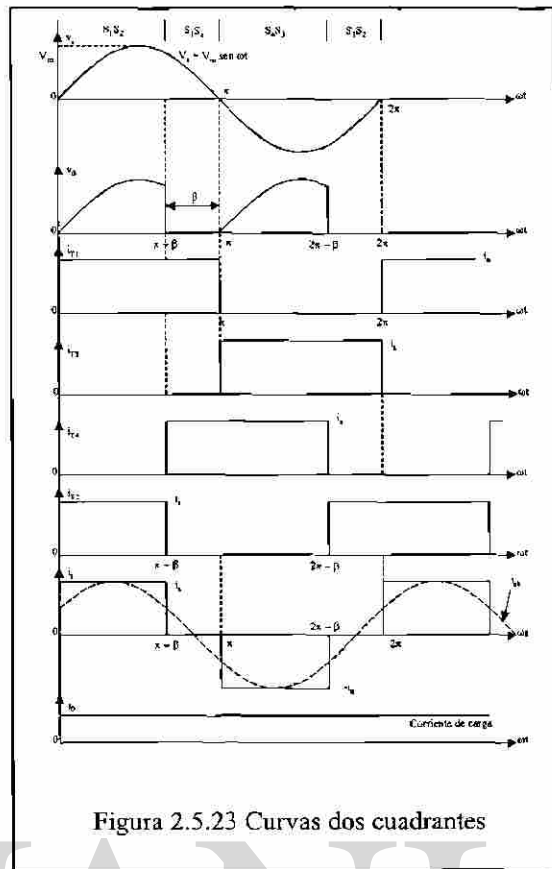


Figura 2.5.23 Curvas dos cuadrantes

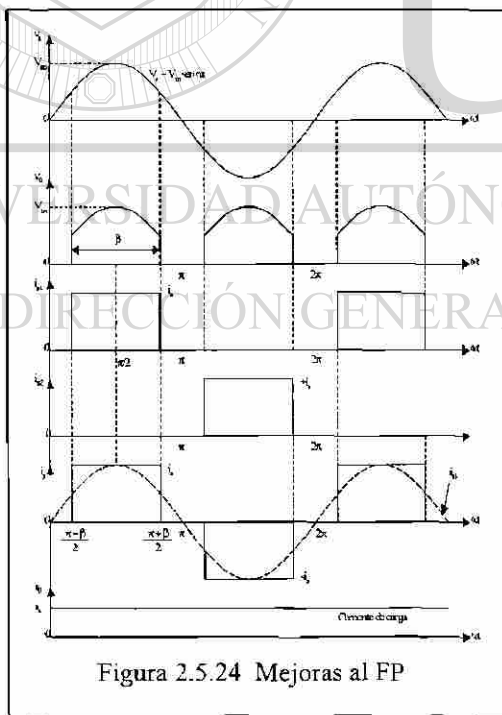


Figura 2.5.24 Mejoras al FP

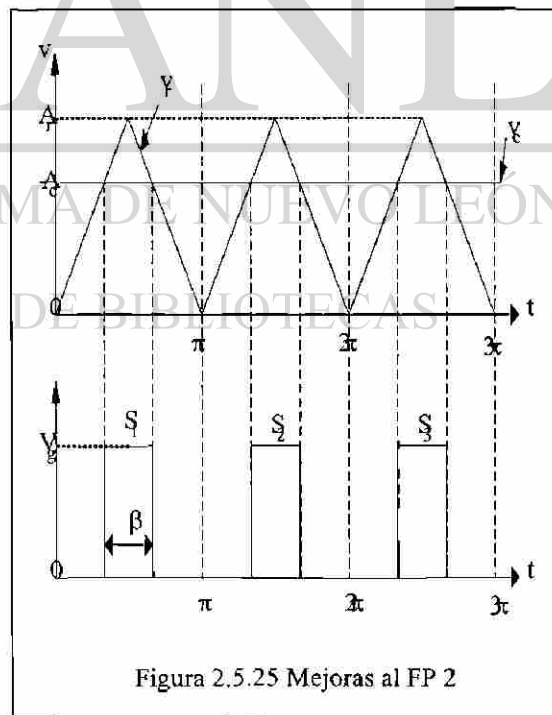
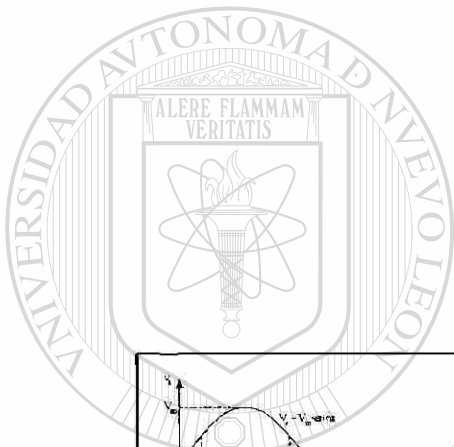


Figura 2.5.25 Mejoras al FP 2



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

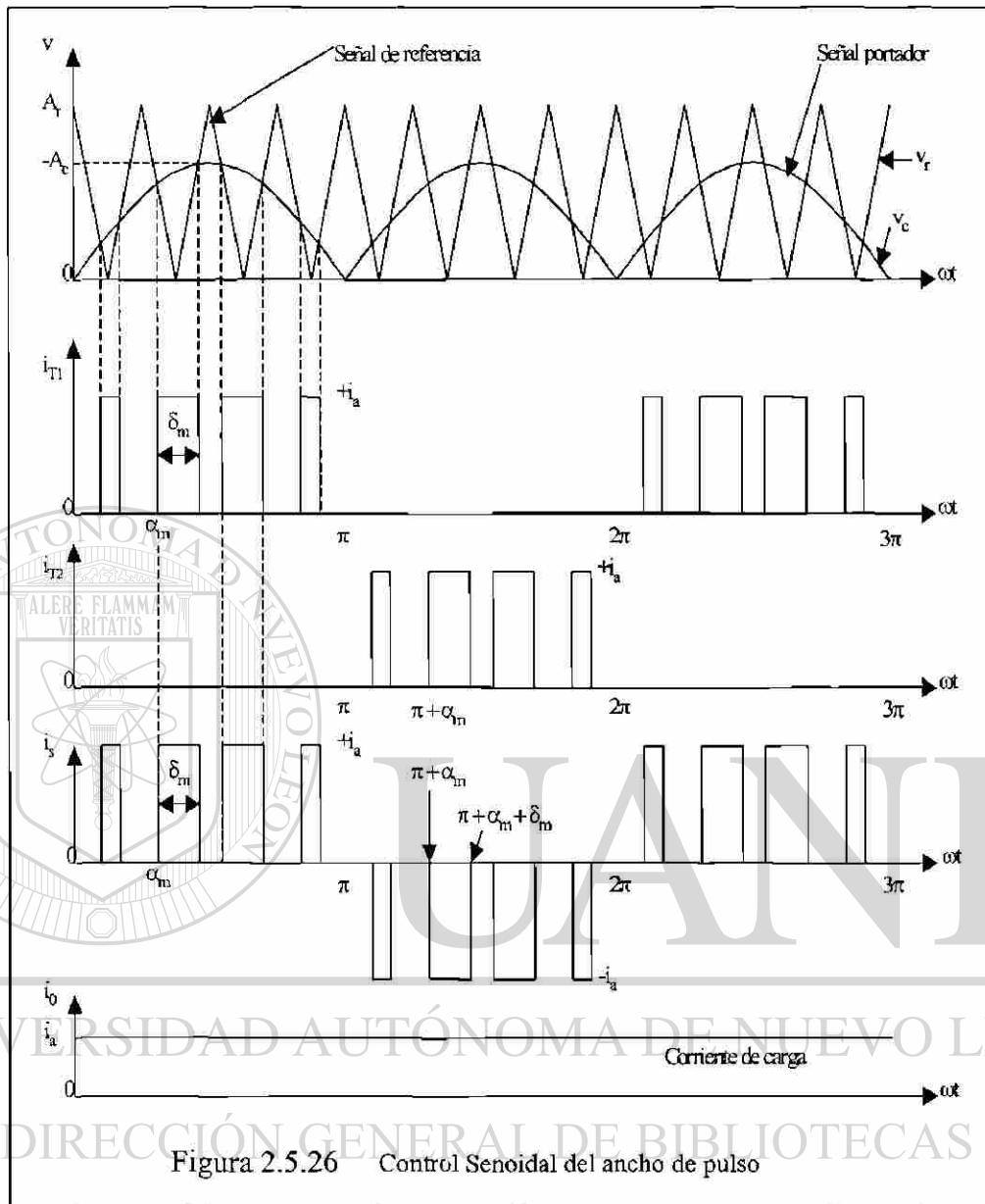


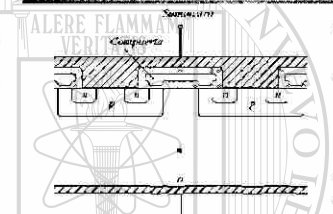
Figura 2.5.26 Control Senoidal del ancho de pulso

## 2.6 Troceadores (Pulsadores) o Convertidores de CD a CD

### 2.6.1 Antecedentes.

La finalidad principal de estos circuitos es la de convertir CD a CD, elevación o disminución de voltaje. A diferencia de los convertidores de fase en los pulsadores es necesario utilizar otro tipo de semiconductores y los más aplicados son: MOSFET, IGBT y BJT. Aunque los tiristores también son aplicados. Solo que el SCR requiere un circuito que permita su desactivación. Los pulsadores en CD son equivalentes al transformador en CA.

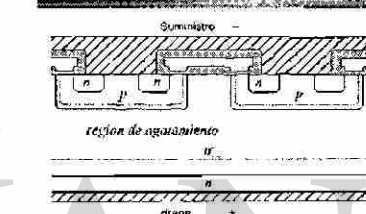
**El MOSFET de potencia**



- Longitud de la aproximadamente 1 micron
- Consiste de muchas células MOSFET conectadas en paralelo
- Flujo de corriente vertical
- El dispositivo canal es mostrada

Figura 2.6.1

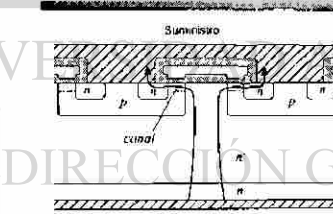
**MOSFET: estado desactivado**



La unión p-n es de polarización inversa. El estado de desactivado de voltaje a parcos cruzando la región n

Figura 2.6.2

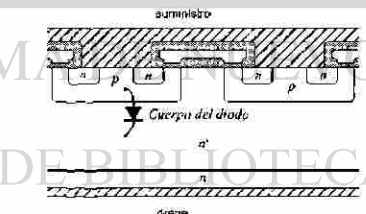
**MOSFET: estado activado**



- La unión p-n está ligeramente polarizada inversamente
- El voltaje positivo en la compuerta induce la conducción en el canal
- La corriente del drenador circula por la región n y el canal
- Resistencia de encendido es igual a la resistencia total de la región n, el canal de conducción, el surtidor y el drenador.

Figura 2.6.3

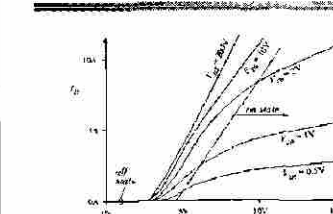
**MOSFET diodo**



- La unión p-n forma un diodo efectivo en paralelo con el canal
- El voltaje negativo entre drenador y surtidor influencia al diodo
- El diodo puede conducir todo el rango de voltaje del MOSFET
- La velocidad de switcheo del diodo no es alta. Qr es grande.

Figura 2.6.4

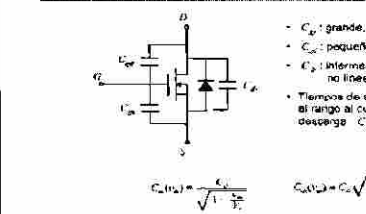
**Características típicas del MOSFET**



- Off  $V_{gs} < V_{gs(th)}$
- On  $V_{gs} > V_{gs(th)}$
- El MOSFET puede conducir corriente en promedio excesiva las características son inmodificables.
- La resistencia de encendido tiene un coeficiente de temperatura positivo.

Figura 2.6.5

**Circuito equivalente del MOSFET**



- $C_{gs}$ : grande, constante
- $C_{gd}$ : pequeña, no lineal
- $C_{ds}$ : intermedia en valor, no lineal
- Tiempos de switcheo determinados por el rango al cual la capacitancia se carga/descarga  $C_{gs}$  y  $C_{gd}$

$$C_{gs}(t) = \frac{C_{gs}}{\sqrt{1 - \frac{V_{gs}}{V_{gs(th)}}}}$$

$$C_{gd}(t) = C_{gd} \sqrt{\frac{V_{gs}}{V_{gs(th)}} - \frac{V_{ds}}{V_{ds(max)}}$$

Figura 2.6.6

**Características de MOSFETs de potencia comerciales**

Modelo	Voltaje	Corriente	$R_{DS(on)}$	Capacitancia
IRF260	60V	20A	0.175 $\Omega$	120nF
IRF511	100V	5.5A	0.54 $\Omega$	4.5nF
IRF540	100V	23A	0.175 $\Omega$	72nF
APT1042/2806	100V	7.5A	0.92 $\Omega$	171nF
IRF530	80V	17A	0.45 $\Omega$	67nF
MTP33080L	80V	18A	0.11 $\Omega$	111nF
APT192/167	90V	7.5A	0.25 $\Omega$	194nF
APT112/167NR	100V	17A	1.0 $\Omega$	320nF

Figura 2.6.7

- Conclusiones del MOSFET**
- Dispositivo portador de carga mayoritaria, alta velocidad de switch
  - Frecuencias típicas de switcher: decenas y centenares de kHz
  - La resistencia de encendido incrementa modestamente con el voltaje
  - Fácil de manejar
  - El dispositivo se encarga para bloquear voltajes menores a 500V
  - Dispositivos para 1000V están disponibles, pero son útiles a potencias bajas (100W)
  - El número de pines es reducido más por sus resistencias que por la cantidad de conexiones

Figura 2.6.8

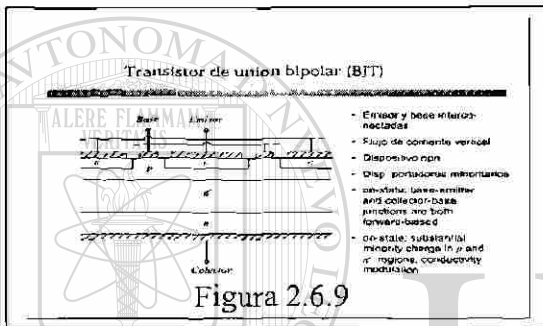


Figura 2.6.9

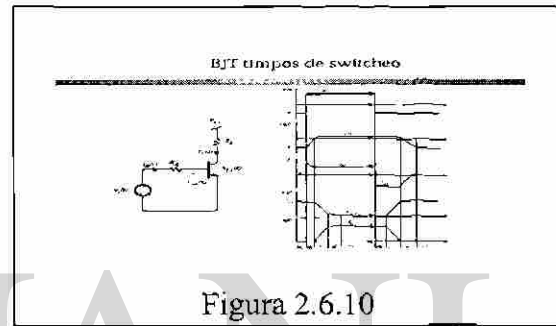


Figura 2.6.10

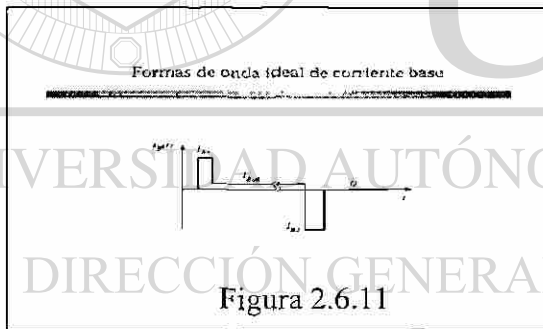


Figura 2.6.11

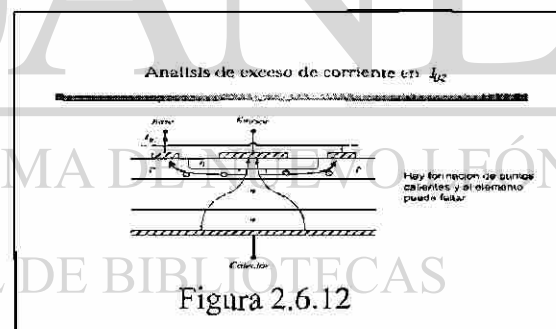


Figura 2.6.12

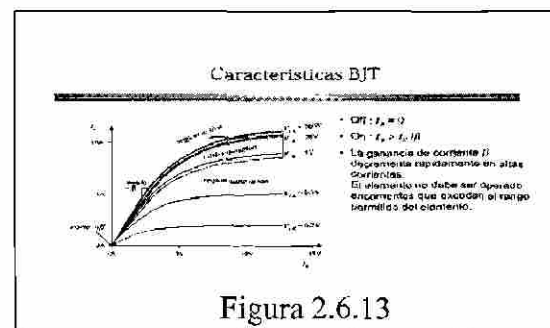


Figura 2.6.13

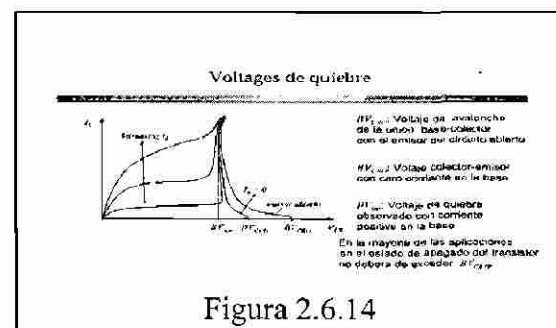
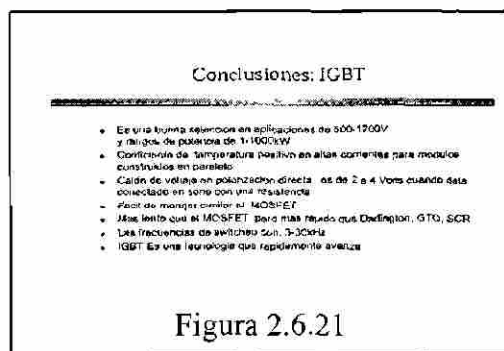
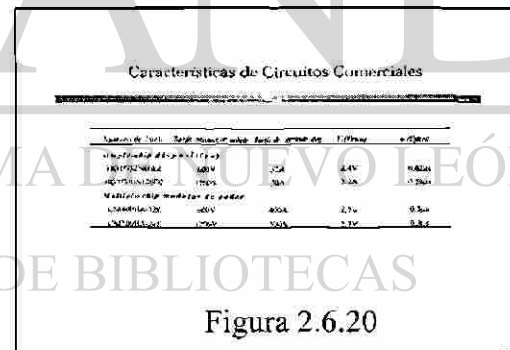
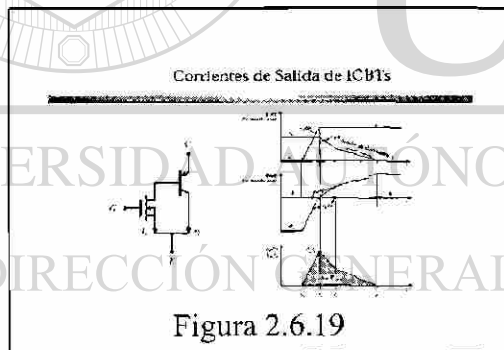
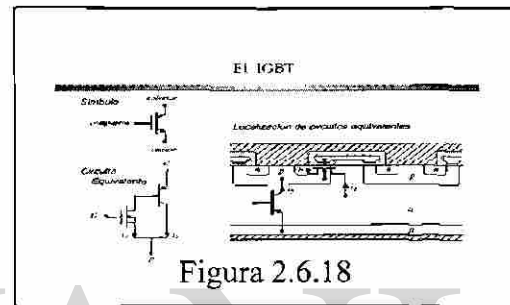
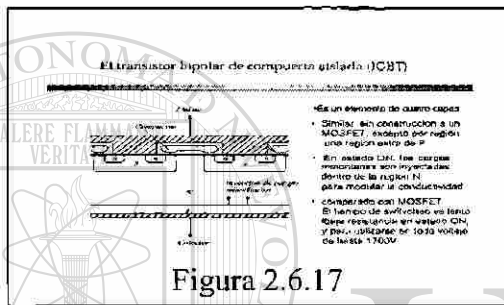
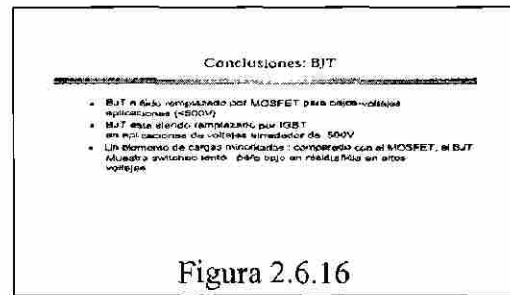
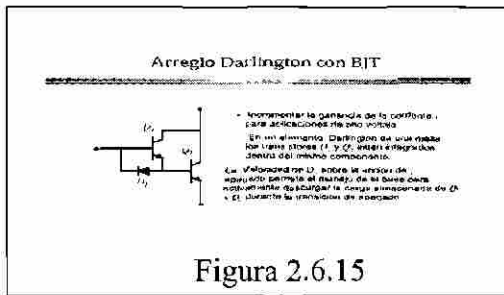


Figura 2.6.14





### 2.6.2 Operación y clasificación.

Los pulsadores son circuitos alimentados con CD, y lo que entregan a la carga o salida es CD Pulsante.

Dentro de la clasificación de los pulsadores muy similar a convertidores de fase, aquí tenemos cinco tipos diferentes que son: A, B, C, D, E. Los cuales explicaremos con circuitos gráficos. Los tipos de conexión de cada elemento semiconductor utilizado para que opere en el tipo de pulsador que se utiliza.

Como la tendencia es que a gran cantidad de equipos con dispositivos basados en microprocesadores que lo que operan son pequeñas señales las que fácilmente pueden activar un interruptor, de estado sólido.

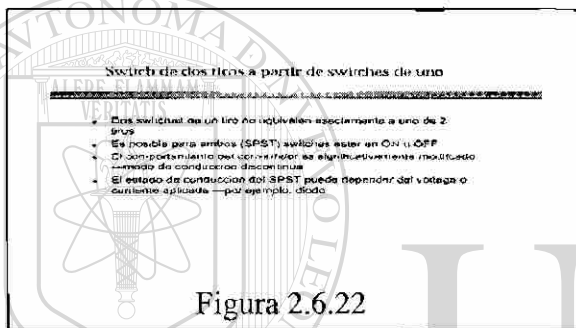


Figura 2.6.22

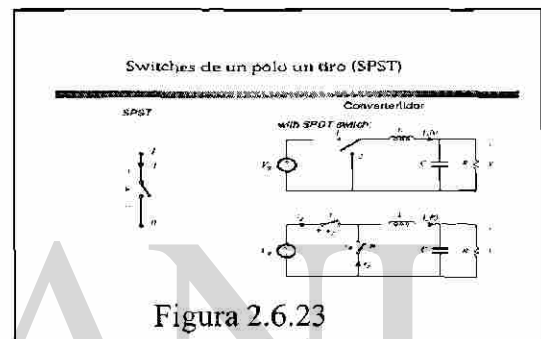


Figura 2.6.23

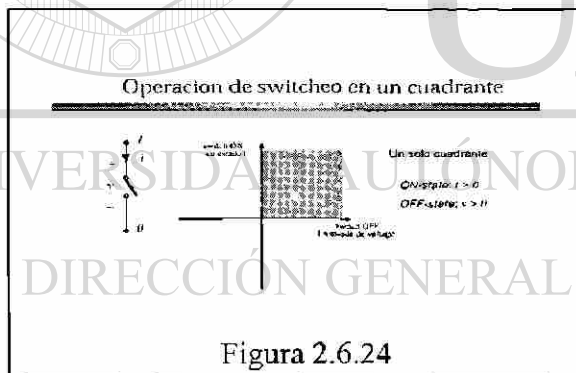


Figura 2.6.24

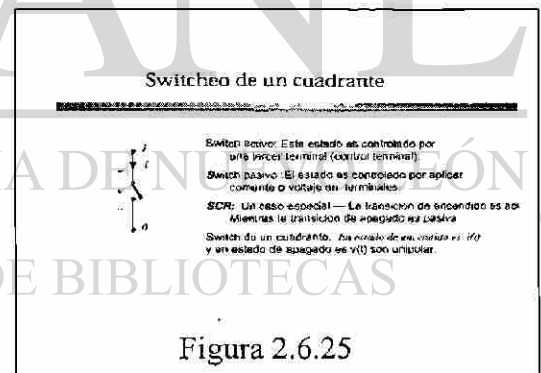


Figura 2.6.25

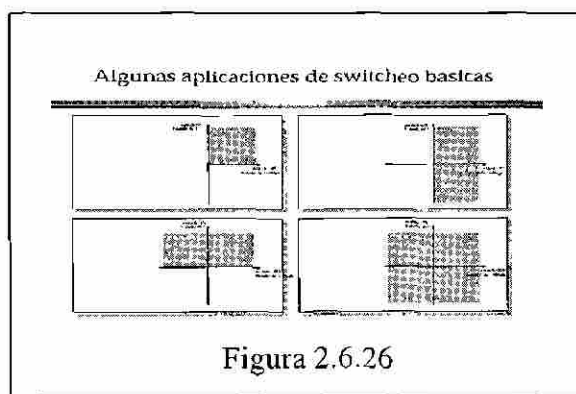


Figura 2.6.26

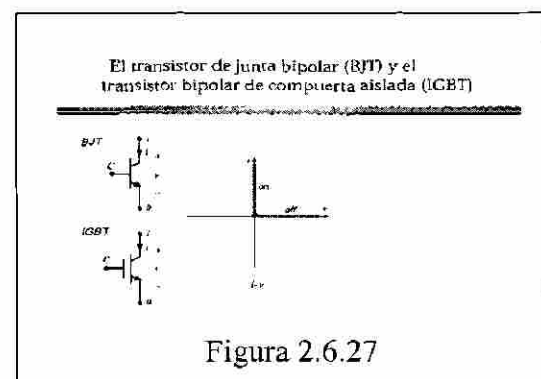
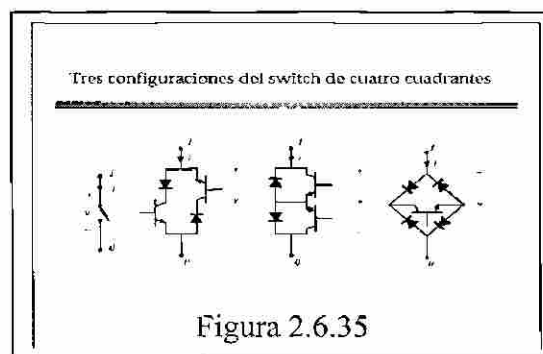
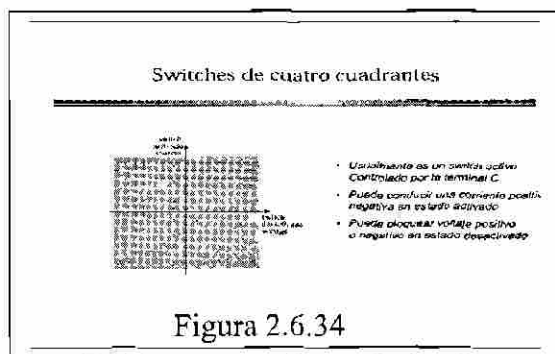
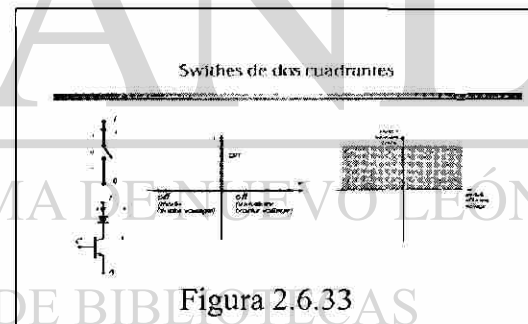
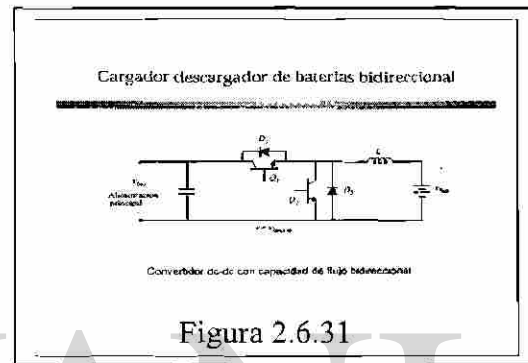
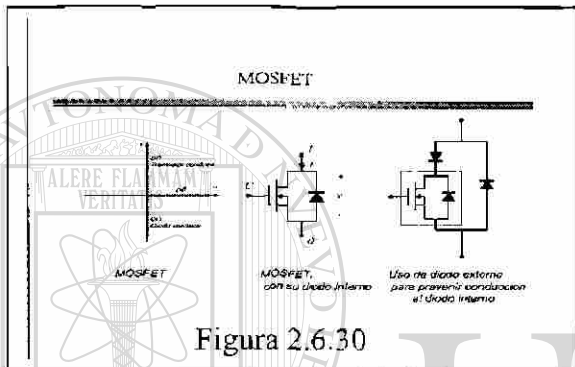
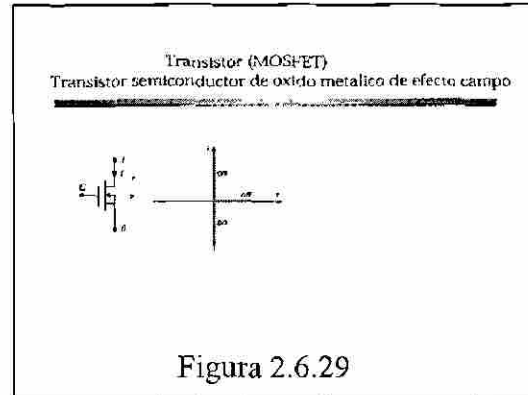
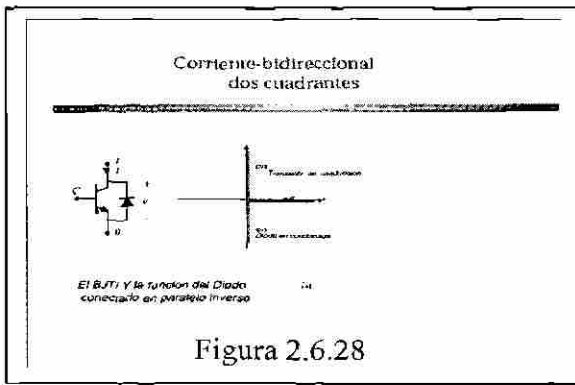
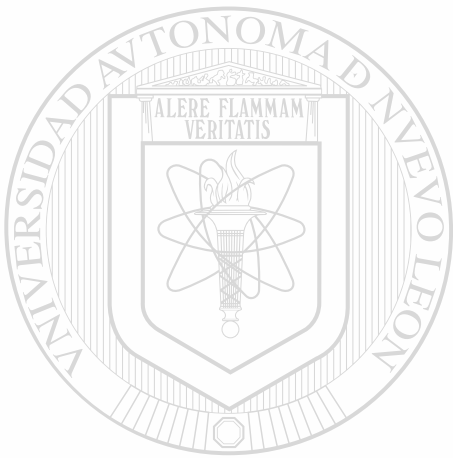
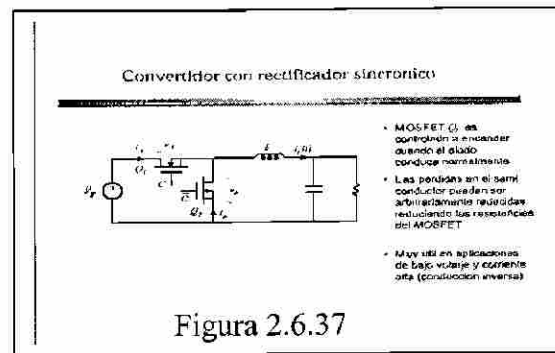
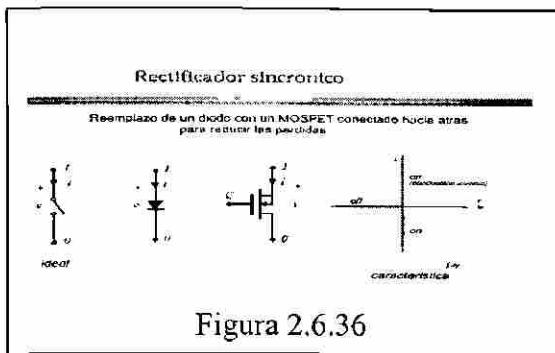


Figura 2.6.27





# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

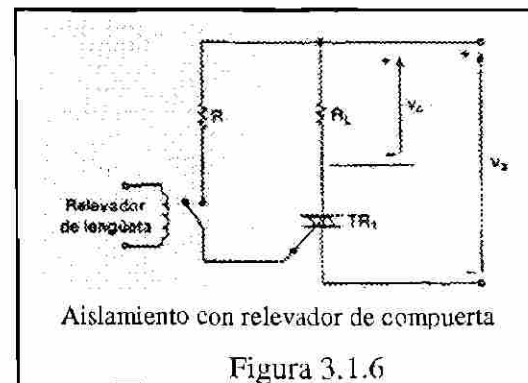
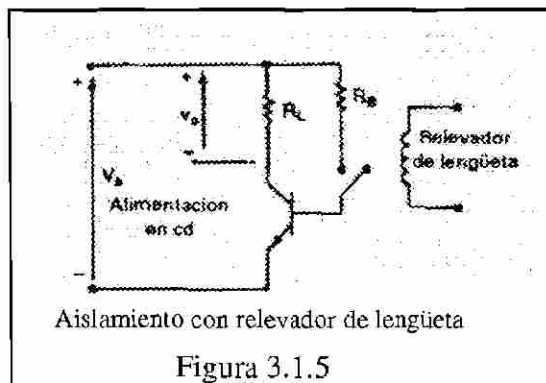
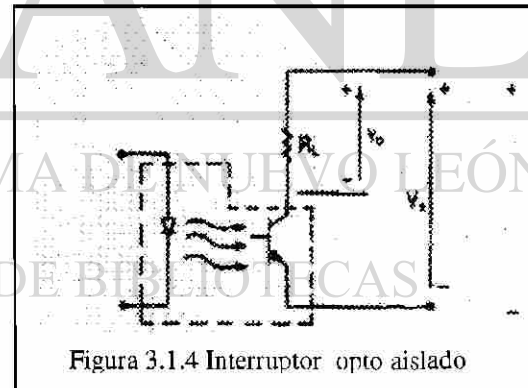
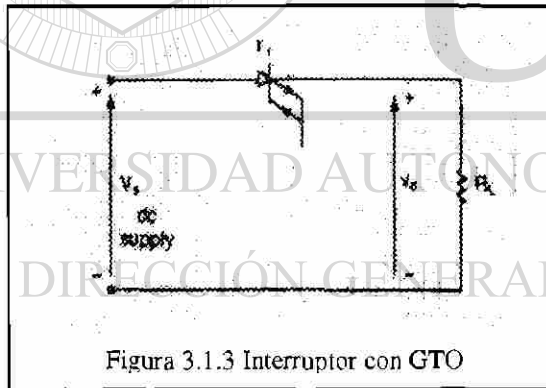
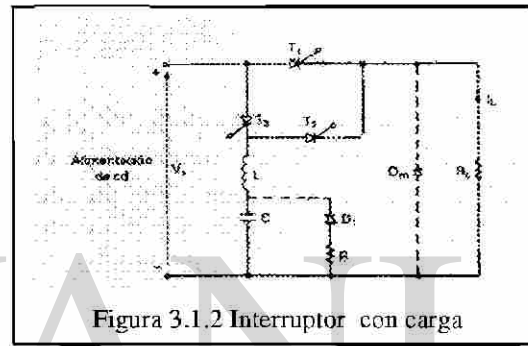
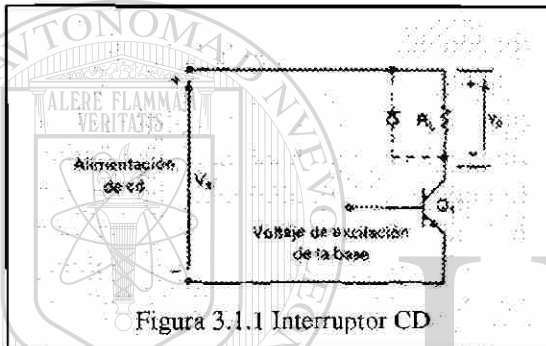
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

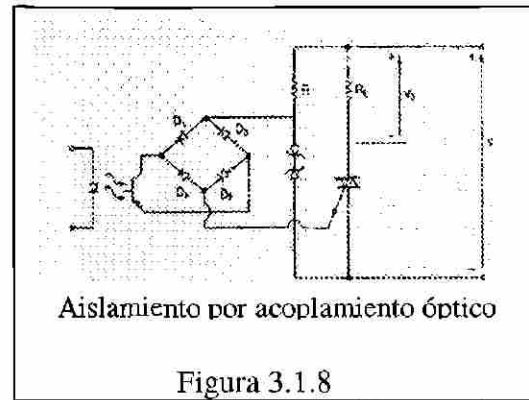
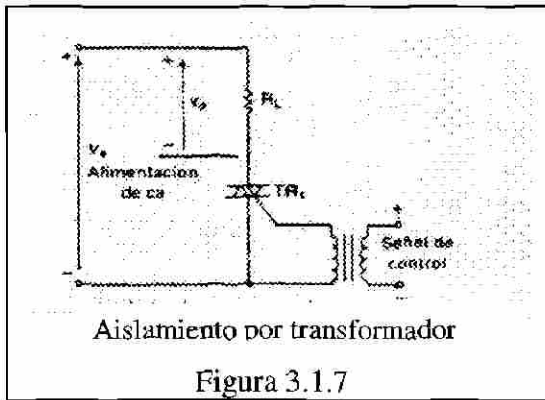


### 3. APLICACIONES INDUSTRIALES

#### 3.1 Interruptores estáticos

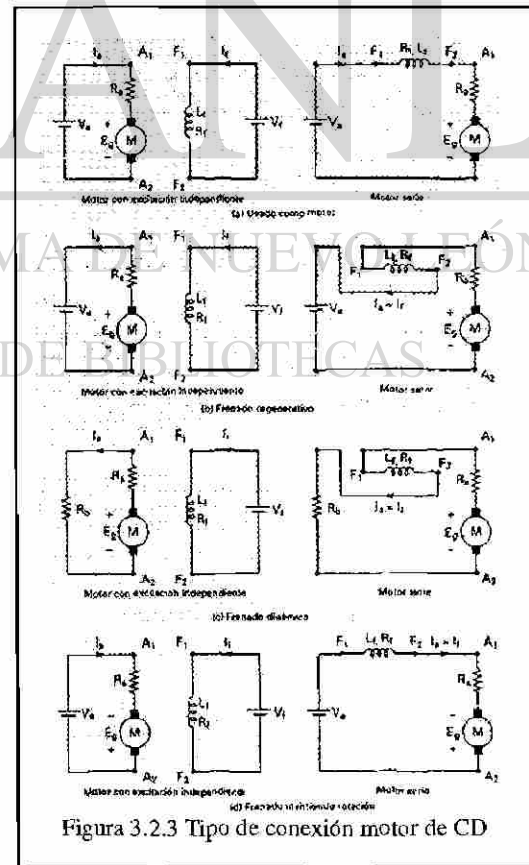
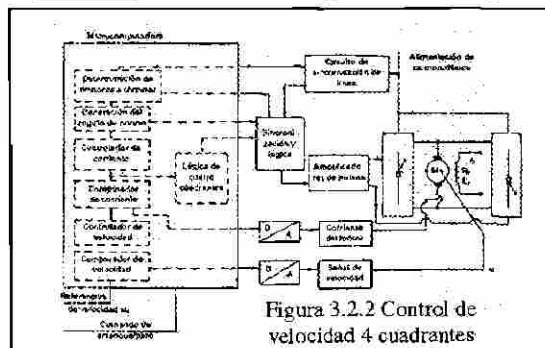
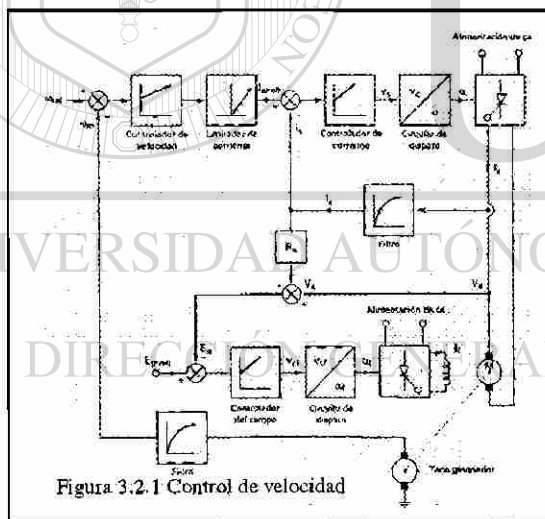
La función de interrupción, puede ser en CA o en CD. Estas interruptores pueden ser aplicadas en situaciones que tengan un medio ambiente adverso, como en el caso de plantas en las que hay gran cantidad de polvos que ocasionan fallas y daños en los interruptores. A continuación se presentan circuitos simplificados que nos muestran la operación de estos dispositivos.

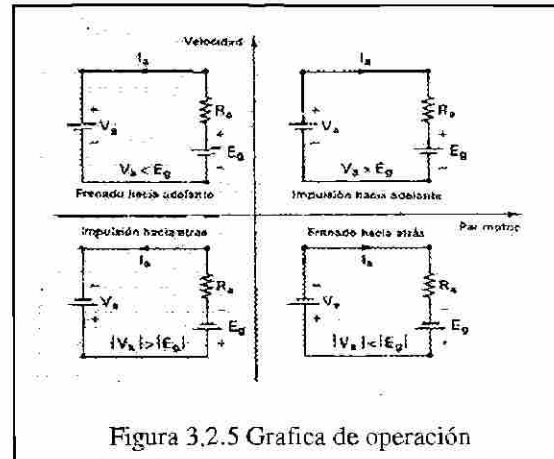
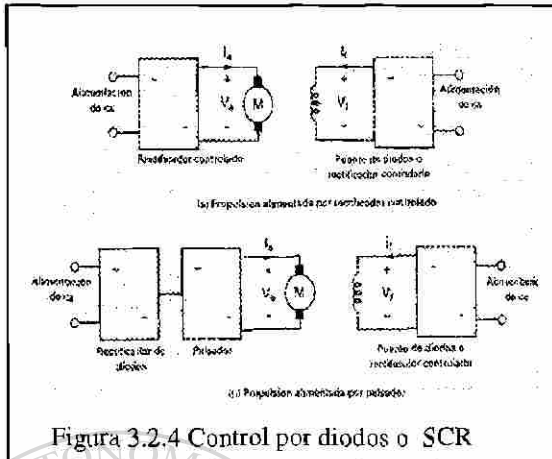




### 3.2 Propulsores de corriente directa

Los propulsores de control de motores de CD, básicamente hablamos de motores típico serie o paralelo que por sus características intrínsecas son fáciles de controlar. Estos tienen alimentación que puede provenir de un rectificador controlado o de un pulsador. Estos a su vez pueden operarse como: motor, freno regenerativo, freno dinámico, frenado invirtiendo rotación y de cuatro cuadrantes.

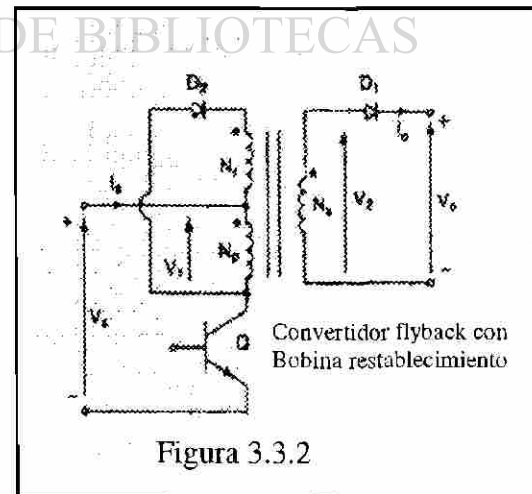
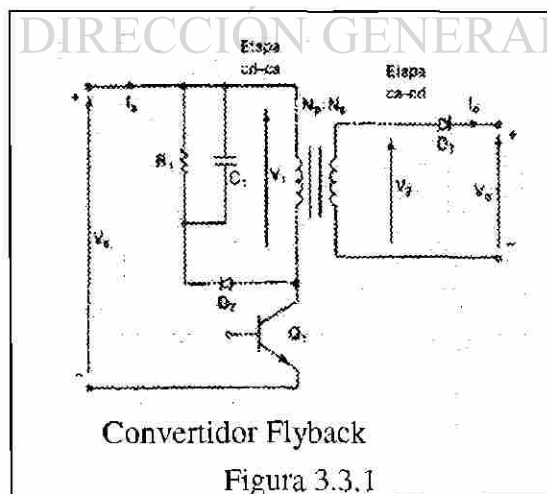




### 3.3 Fuentes de poder

Estos pueden ser de CA o de CD, básicamente son los convertidores que ya se vieron, si clasificamos las fuentes de CD, tenemos: conmutadas, resonantes, y bidireccionales, y los de CA interrumpidas, resonantes y bidireccionales

A continuación presentamos los circuitos condensados de los diferentes tipos de fuentes.



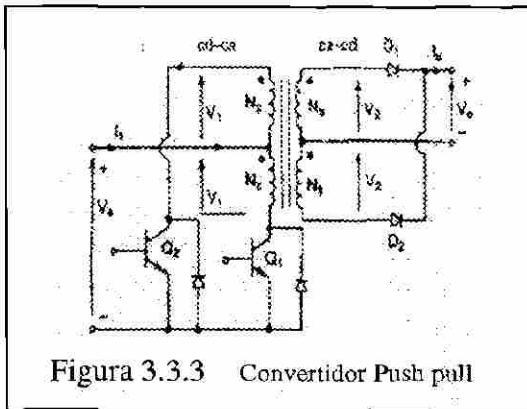


Figura 3.3.3 Convertidor Push pull

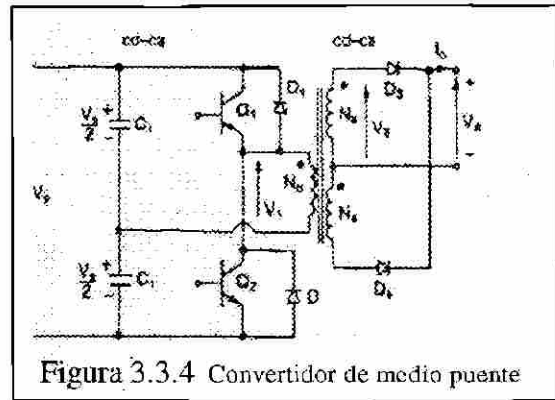
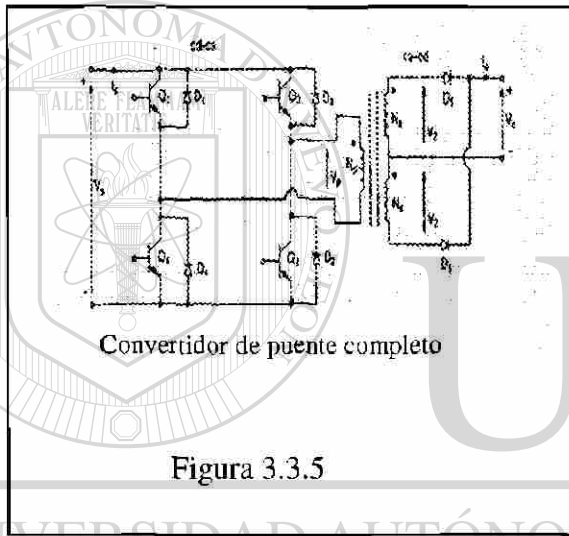
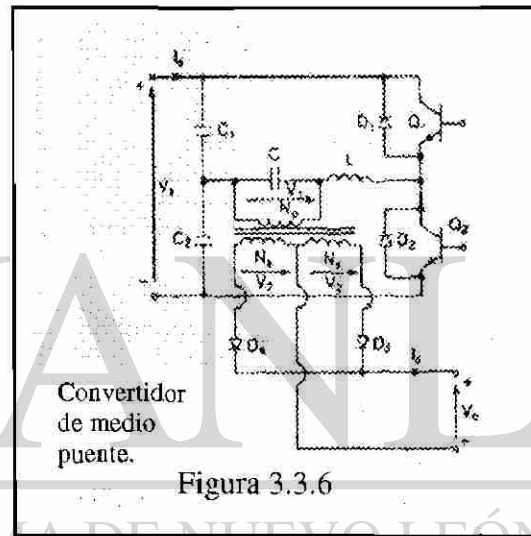


Figura 3.3.4 Convertidor de medio puente



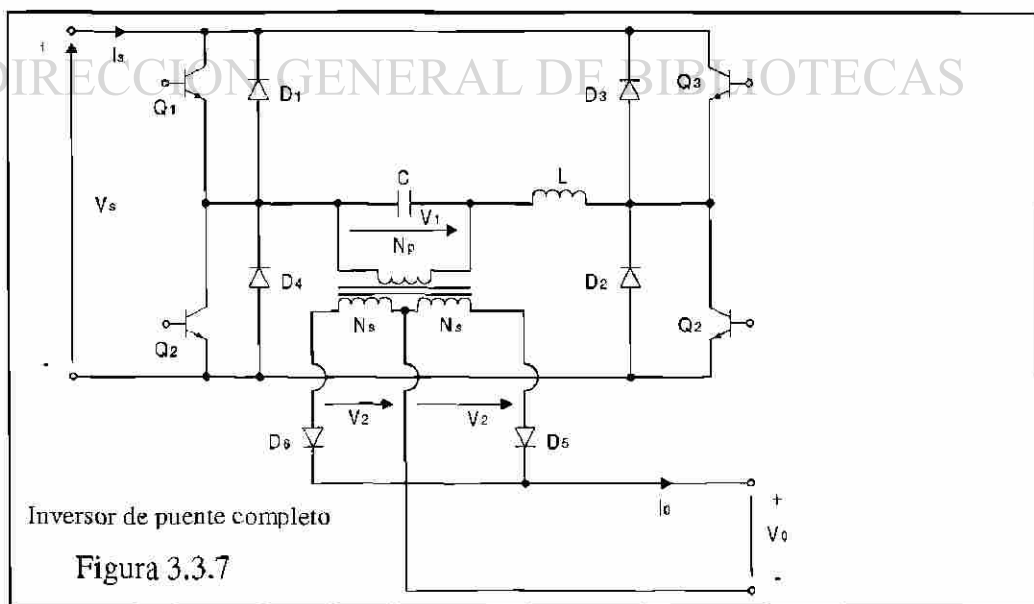
Convertidor de puente completo

Figura 3.3.5



Convertidor de medio puente.

Figura 3.3.6

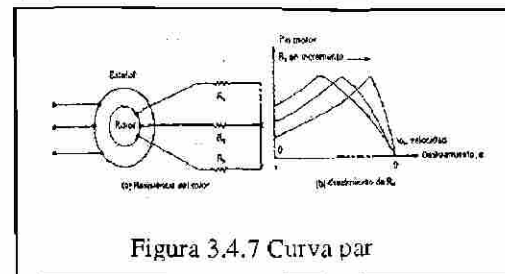
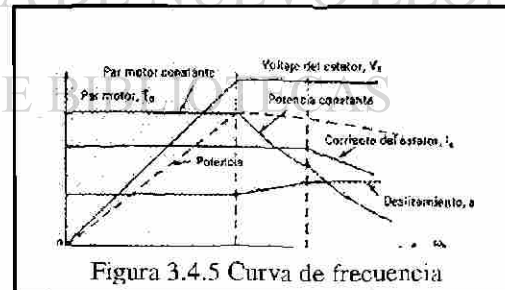
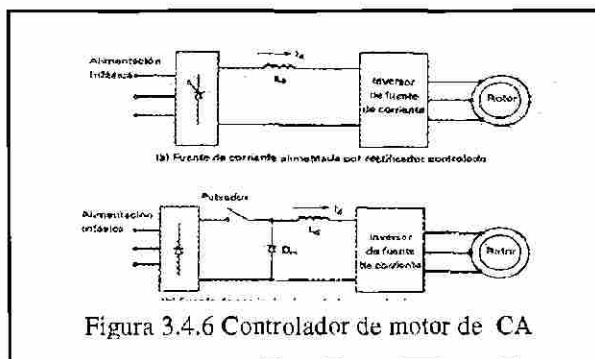
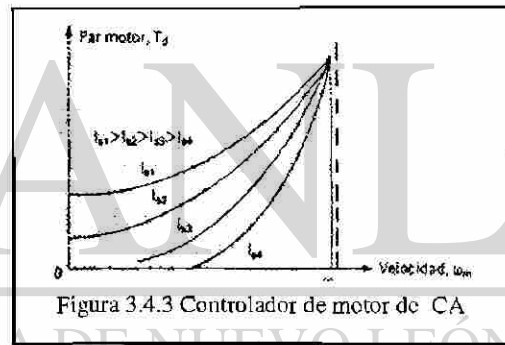
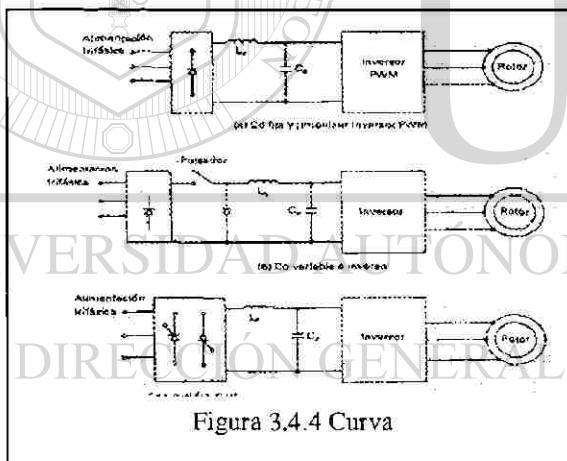
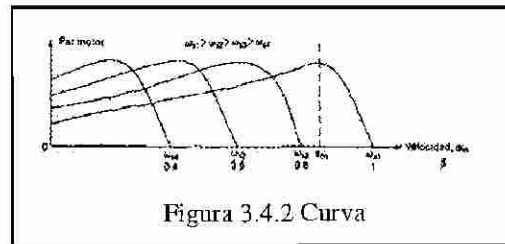
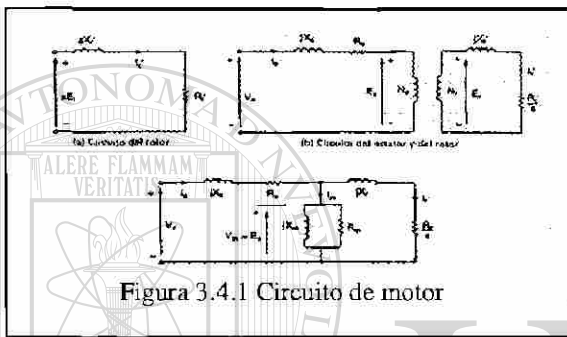


Inversor de puente completo

Figura 3.3.7

### 3.4 Propulsores de corriente alterna

Los motores de CA requieren de un control mas complicado que los de CD, por lo que en décadas pasadas eran poco atractivo adquirir un controlador de velocidad de un motor de corriente alterna, ya que por una parte el costo muy alto y por otro lado la gran cantidad de interferencia que ocasionaba. A continuación se presenta el modelo de los motores de inducción. Los motores pueden ser controlados por las siguientes formas: controlador de voltaje del estator, control de voltaje del rotor, control de frecuencia, control de voltaje y frecuencia, control de corriente del estator y control de corriente, voltaje y frecuencia.





## 4. MATERIAL DE APOYO

### 4.1 Preguntas y problemas resueltos.

A continuación se presentan preguntas y problemas resueltos, para disponer de una base de datos que nos permita aplicar exámenes similares y de esta forma el maestro de reciente ingreso dispone de un material de apoyo para su cátedra. A continuación se presentan un cuestionario y un problemario correspondientes al Capítulo dos cuyo título es MATERIAL PARA CLASES y se numeraron de acuerdo a temas en este.

#### 2.1.1 ¿Qué es electrónica de potencia?

Es la aplicación de la electrónica de estado sólido para el control y la conversión de la energía eléctrica. Se basa en primer término, en la conmutación de dispositivos semiconductores de potencia. Combina la energía, la electrónica y el control.

#### 2.1.2 ¿Cuales son los diversos tipos de tiristores ?

- 1 -Tiristor de conmutación forzada.
- 2-Tiristor conmutado por línea
- 3-Tiristor desactivado por compuerta. GTO
- 4-Tiristor de conducción inversa, RCI
- 5-Tiristor de inducción estático, SITH
- 6-Tiristor desactivado con asistencia de compuerta, GATT
- 7-Rectificador controlado de silicio foto activado, LASCR
- 8-Tiristor controlado por MOS, MCT

#### 2.1.3 ¿Qué es un circuito de conmutación?

Este circuito se utiliza para desactivar los tiristores conmutados en forma forzada

#### 2.1.4 ¿Cuales son las condiciones para que un tiristor conduzca?

Haciendo pasar una pequeña corriente a través de la terminal de la compuerta hacia el cátodo, siempre y cuando la terminal del ánodo este a un potencial mas alto que el cátodo

#### 2.1.5 ¿Cómo se puede desactivar un tiristor en conducción?

- a) Haciendo que el potencial del ánodo sea igual o menor que el potencial del cátodo.
- b) Los tiristores conmutados en línea se desactivan en razón de la naturaleza senoidal del voltaje de entrada
- c) Y los tiristores conmutados en forma forzada mediante un circuito adicional conocido como circuitería de conmutación.

### 2.1.6 ¿ Qué es conmutación en línea?

Si el voltaje de alimentación (o de la entrada) es de CA, la corriente del tiristor pasa a través de un cero natural, y a través del tiristor aparece un voltaje inverso. El dispositivo queda entonces desactivado en forma automática debido al comportamiento natural del voltaje de alimentación.

### 2.1.7 ¿ Qué es conmutación forzada?

En algunos circuitos el tiristor, el voltaje de entrada es de CD, para desactivar al tiristor, la corriente en sentido directo del tiristor se obliga a pasar por cero utilizando un circuito adicional conocido como circuito de conmutación.

Por lo general, se aplica en los convertidores de CD a CD (pulsadores) y en convertidores de CD a CA (inversores). Se puede lograr de 7 maneras diferentes:

- 1 Auto conmutación
- 2 Conmutación por impulso
- 3 Conmutación por pulso resonante
- 4 Conmutación complementaria
- 5 Conmutación por pulso externo
- 6 Conmutación del lado de la carga
- 7 Conmutación del lado de la línea.

### 2.1.8 ¿Cuál es la diferencia entre un tiristor y un TRIAC?

Que el flujo de la corriente a través de un TRIAC se puede controlar en cualquier dirección.

### 2.1.9 ¿Cuál es la característica de compuerta de un GTO?

Tiristor auto desactivado, se activa mediante la aplicación de un pulso breve positivo y desactiva mediante la aplicación de un pulso corto negativo, resultan muy atractivos para la conmutación forzada de convertidores.

### 2.1.10 ¿Cuál es el tiempo de desactivación de un tiristor?

Es el intervalo de tiempo entre el instante en que la corriente principal se reduce a cero después de la interrupción externa del circuito de voltaje principal, y el instante que el tiristor es capaz de aceptar un voltaje principal especificado, sin activarse.

### 2.1.11 ¿ Qué es un convertidor?

Dispositivo que convierte la potencia de una forma a otra, se puede considerar como matriz de conmutación. Convierte el voltaje de ca en cd o viceversa.

### 2.1.12 ¿Cuál es principio de conversión de CA-CD?

En este el valor promedio de voltaje de salida se puede controlar variando el tiempo conducción de los tiristores o el ángulo de retraso de disparo. Obtener un voltaje de salida de CD a partir de una fuente de corriente alterna fija.

2.1.13 ¿Cuál es el principio de conversión de CA-CA?

Obtener un voltaje de salida CA variable a partir de una fuente de corriente fija, controlando el voltaje de salida mediante la variación del tiempo de conducción de un TRIAC o el ángulo de retraso de disparo,  $\alpha$ .

2.1.14 ¿Cuál es el principio de conversión de CD-CD?

Llamado también regulador o un pulsador de conmutación. El voltaje promedio de salida se controla mediante la variación del tiempo de conducción "t", del transistor Q1. Si T es el periodo de corte entonces  $t_1=dt$ , d se conoce como el ciclo de trabajo del pulsador.

2.1.15 ¿Cuál es principio de conversión de CD-CA?

Hacer el cambio de polaridad en cada medio ciclo, lo cual nos dá una corriente con forma de onda senoidal tipo cuadrada (idealmente). Se conoce también como inversor.

2.1.16 ¿Cuáles son los pasos incluidos en el diseño de un equipo de electrónica de potencia?

Diseños de los circuitos de potencia  
 Protección de los dispositivos de potencia  
 Determinación de la estrategia de control  
 Diseño de los circuitos lógicos y de mando

2.1.17 ¿Cuáles son los efectos periféricos del equipo electrónico de potencia ?

La introducción de armónicas de corriente y de voltaje en el sistema de alimentación y en la salida de los convertidores, interferencia con circuitos de comunicación y señalización.

2.1.18 ¿Cuáles son las diferencias entre las características de compuerta de los GTO y los tiristores?

Los GTO se pueden activar mediante un pulso positivo y desactivar mediante un breve pulso negativo. ®

2.1.19 ¿Cuáles son las diferencias entre las características de compuerta de tiristores y transistores?

En el transistor siempre que la unión del colector al emisor esté correctamente polarizada, éste se conservará activado.  $V_B > V_E$  y la  $I_b$  suficientemente grande como para excitar al transistor en la región de saturación.

2.1.20 ¿Cuáles son las diferencias en las características de compuerta de los BJT y los MOSFET?

Los MOSFET son de alta velocidad de respuesta y son de poca potencia relativamente (1000V, 50A).

2.1.21 ¿Cuál es la característica de compuerta de un IGBT?

Controlados por voltaje son adecuados para alto voltaje, altas corrientes y frecuencia de más de 20 Khz. (1200V, 400A o más capacidad).

2.1.22 ¿Cuál es la característica de compuerta de un MCT?

Se puede activar mediante un pequeño pulso de voltaje negativo sobre la compuerta MOS (respecto a su ánodo) y desactivar mediante un pulso pequeño de voltaje positivo. La ganancia de desactivación es muy alta.

2.1.23 ¿Cuál es la característica de compuerta de un SITH?

Los tiempos de desactivación y activación son muy cortos, típicamente de  $0.25\mu\text{s}$ . La característica de normalmente activo y la alta caída de voltaje limitan sus aplicaciones para conversiones de energía de uso general. Dispositivo de alta potencia y alta frecuencia (audio, VHF/UHF, amp. de microondas).

2.1.24 ¿Cuáles son las diferencias entre un BJT y los IGBT?

Los IGBT son más rápidos, ofrecen características de excitación y de salidas muy superiores a los de BJT.

2.1.25 ¿Cuáles son las diferencias entre un MCT y los GTO?

El MCT se activa con un pulso negativo y se desactiva con un pulso positivo, y la ganancia de desactivación es muy alta.

2.1.26 ¿Cuáles son las diferencias entre un SITH y los GTO?

Los SITH pueden ser aplicados a convertidores de mediana potencia con una frecuencia de varios cientos de Khz. , Y más allá del rango de frecuencia de los GTO. Y los GTO son atractivos para la conmutación forzada de convertidores.

2.2.1 ¿Cuales son los tipos de diodos de potencia?

1. diodos estándar o de recuperación
2. diodos de recuperación rápida
3. diodos schottky

2.2.2 ¿Qué es la corriente de fuga de los diodos?

Es aquella que se presenta bajo condiciones de polarización inversa 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.

2.2.3 ¿Qué es el tiempo de recuperación inversa de los diodos?

Es el intervalo de tiempo que los portadores minoritarios requieren para recombinarse con cargas opuestas y neutralizarse.

2.2.4 ¿Qué es la corriente de recuperación inversa de los diodos?

Parámetro que puede ser expresado como corriente inversa de pico  $di/dt$ .

2.2.5 ¿Qué es el factor de suavidad de los diodos?

Es la relación que se tiene entre el  $t_b$  y  $t_a$  que son los tiempos de recuperación inversa que presenta el diodo.

2.2.6 ¿ Cuales son los tipos de recuperación de los diodos?

- \* El tiempo de recuperación de inversa trr.
- \* La carga de recuperación inversa qrr.
- \* El tiempo de recuperación directa.

2.2.7 ¿Cuál es la causa del tiempo de recuperación inversa de un diodo de unión pn?

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 cierto tiempo para recombinarse con cargas opuestas y neutralizarse.

2.2.8 ¿ Cual es efecto del tiempo de recuperación inversa?

Cuando un diodo esta en modo de conducción directa y su corriente se reduce a cero ( debido al comportamiento natural del circuito del diodo o a la aplicación de un voltaje inverso), el diodo continua conduciendo.

2.2.9 ¿ Por que es necesario utilizar diodos de recuperación rápida para conversión de alta velocidad?

Tiene un tiempo de recuperación baja, por lo general tiene 5µseg. Y la velocidad de recuperación es a menudo de importancia critica.

2.2.10 ¿ Qué es el tiempo de recuperación directa?

El que limita la velocidad de elevación de la corriente directa y la velocidad de conmutación. Los diodos prácticos requieren de un cierto tiempo de activación, antes de que toda la superficie de la unión se haga conductora, el  $di/dt$  debe mantenerse bajo para alcanzar el limite de tiempo de activación.

2.2.11 ¿ cuales son las diferencias principales entre los diodos de unión pn y los diodos schottky?

- La carga recuperada de un diodo schottky es mucho menor que la de un diodo equivalente de unión pn.
- La corriente de un diodo schottky es mayor que la de un diodo de unión pn.
- Un diodo schottky tiene una salida de voltaje relativamente baja.
- Un diodo schottky con un voltaje de conducción relativamente bajo
- Tiene una corriente de fuga relativamente alta y viceversa.

2.2.12 ¿ Cuáles son las limitaciones de los diodos schottky?

Su voltaje máximo permisible está por lo general limitado a 100v. Las especificaciones de corriente varían de 1 a 300 A.

2.2.13 ¿Cuál es el tiempo de recuperación inversa típico de los diodos de uso general?  
Tiene un tiempo de recuperación relativamente alto, típicamente de 25 (μseg.).

2.2.14 ¿Cuál es el tiempo de recuperación inversa típico de los diodos de recuperación rápida?  
Un tiempo relativamente bajo por lo general menor de 5 (μseg.).

2.2.15 ¿Cuáles son los problemas de los diodos conectados en serie y cuáles son las soluciones posibles?

*Problema.*- en condición de bloqueo inverso, cada diodo debe de llevar la misma corriente de fuga y como resultado los voltajes de bloqueo variarán en forma significativa.

*Solución:* Obligar a que compartan el mismo voltaje con una resistencia a través de cada diodo. Debido a que esta distribución de voltajes iguales la corriente de fuga de cada diodo sería diferente.

2.2.16 ¿Cuáles son los problemas de los diodos conectados en paralelo, y cuáles son las soluciones posibles?

*Problema:* Si se conectan resistencias de distribución de corriente pueden provocar pérdidas de energía.

*Solución:* Se minimiza este problema utilizando diodos con caída de voltaje directas iguales del mismo tipo.

2.2.17 Si dos diodos están conectados en serie con igual repartición de voltaje, ¿Por qué difieren las corrientes de fuga de los diodos?

Al obligar a los diodos a compartir el mismo voltaje, por esta razón la corriente de fuga de cada diodo es diferente ya que comparten esta corriente de fuga con la resistencia divisora de voltaje.

2.3.1 ¿Cuál es la constante de tiempo de un circuito RL?

$$\tau = L / R$$

2.3.2 ¿Cuál es la constante de tiempo de un circuito RC?

$$\tau = RC$$

2.3.3 ¿Cuál es la frecuencia de resonancia de un circuito LC?

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

2.3.4 ¿Cuál es el factor de amortiguamiento de un circuito RLC?

$$\varepsilon = R / 2L$$

2.3.5 ¿Cuál es la diferencia entre frecuencia de resonancia y frecuencia de amortiguamiento de un circuito RLC?

Estas son dos propiedades de un circuito de segundo orden, la frecuencia de resonancia es la frecuencia en la cual el circuito entra en máxima amplitud y mínima impedancia. La frecuencia de amortiguamiento es aquella que nos atenúa el comportamiento de nuestra variable que analizamos, si ésta tiene el valor de uno. A continuación se presentan los casos típicos.

Si estos dos valores son iguales se tiene un sistema críticamente amortiguado,

Si  $\alpha > \omega$  se tiene un sistema sobre amortiguado,

Si  $\alpha < \omega$  se tiene un sistema sub-amortiguado.

2.3.6 ¿Qué es un diodo de marcha libre y cuál es su uso?

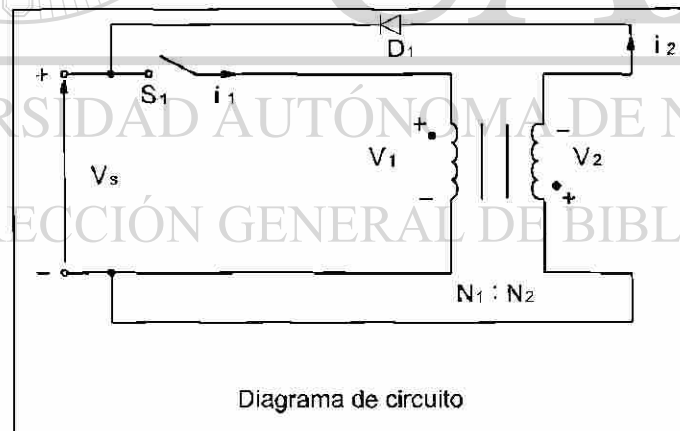
Es un diodo que se utiliza para desviar la corriente en un circuito en el cual se tiene una inductancia y al terminar el suministro de energía a través del circuito de la inductancia genera una corriente. Para encontrar una trayectoria para la corriente de la carga inductiva.

2.3.7 ¿Qué es la energía atrapada en el inductor?

La inductancia, al recibir corriente, ésta la va almacenando en forma de campo magnético y cuando hay un paro en el suministro este campo se transforma en corriente y se queda almacenada esta energía (corriente) al menos que esta sea disipada a través de una carga.

2.3.8 ¿Cómo se puede recuperar la energía atrapada mediante un diodo?

Esto se puede hacer si se agrega al inductor un segundo bobinado y se conecta un diodo D1 como sigue:



2.3.9 ¿Cuál es la relación de vueltas de un transformador?

$$A = N_2/N_1$$

2.3.10 ¿ Qué es un rectificador? ¿Cuál es la diferencia entre un rectificador y un convertidor?

Es un circuito que convierte una señal alterna en una señal directa (rectificada), y el convertidor, su funcionamiento es que genera un voltaje de salida de CD variable a partir de un voltaje fijo de CA y el voltaje de salida se controla mediante la variación del tiempo de conducción de los tiristores o transistores.

2.3.11 ¿ Qué es la condición de bloqueo de un diodo?

Es cuando el medio ciclo negativo del voltaje de entrada al diodo, el diodo deja de conducir (se bloquea), y el voltaje de salida es cero.

2.3.12 ¿ Cuáles son los parámetros de rendimiento de un rectificador?

Eficiencia  $\eta = \frac{P_{cd}}{P_{ca}}$  ;  $FF = \frac{V_{rms}}{V_{cd}}$  ;  $RF = \frac{V_{ca}}{V_{cd}}$  ;  $TUF = \frac{P_{cd}}{V_s I_s}$

$$HF = \frac{\sqrt{I_s^2 - I_{s1}^2}}{I_{s1}^2} = \sqrt{\frac{I_s^2 - 1}{I_{s1}^2}} ; V_{ca} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{cd}^2}$$

2.3.13 ¿Cuál es el significado del factor de forma de un rectificador?

es una medida de la forma de voltaje de salida.  $FF = \frac{V_{rms}}{V_{cd}}$

2.3.14 ¿Cuál es el significado del factor de componente ondulatoria de un rectificador?

es una medida del contenido de la componente ondulatoria.  $RF = \frac{V_{ca}}{V_{cd}}$

2.3.15 ¿Qué es la eficiencia de la rectificación?

es el porcentaje de la energía alterna que se aprovecha para convertirla en energía de corriente de corriente direct

$$= \frac{P_{cd}}{P_{ca}}$$

2.3.16 ¿Cuál es el significado del factor de utilización del transformador?

el porcentaje de la energía eficaz aportada por el transformador que se aprovecha para convertirla en potencia directa al circuito.

$$TUF = \frac{P_{cd}}{V_s I_s}$$

2.3.17 ¿Qué es el factor de desfase?

$DF = \cos\phi$  es el coseno del ángulo que existe entre las componentes fundamentales de la corriente y el voltaje.



2.3.18 ¿ Qué es el factor de potencia de entrada?

$$PF = \frac{V_s I_{s1}}{V_s I_s} \quad \text{Cos} \phi = \frac{I_{s1}}{I_s} \text{Cos} \phi$$

2.3.19 ¿ Qué es el factor de armónicas?

HF, es una medida de la distorsión de una forma de onda y también se conoce como distorsión armónica total (THD) y se define como:

$$HF = \sqrt{\frac{(I_s^2 - I_{s1}^2)}{I_{s1}^2}} = \sqrt{\frac{(I_s^2 - 1)}{I_{s1}^2}}$$

2.3.20 ¿Cuál es la diferencia entre un rectificador de media onda y uno de onda completa?

La diferencia radica en el rectificador de media onda, este sólo rectifica a directa en el semiciclo (+) de la señal de alterna de entrada y el rectificador de onda completa rectifica en el ciclo completo, es decir; En el semiciclo (-) también rectifica.

2.3.21 ¿Cuál es el voltaje de salida de cd en un rectificador monofásico de media onda?

$$V_{cd} = 0.318 V_m = \frac{V_m}{\pi}$$

2.3.22 ¿Cuál es el voltaje de salida en cd de un rectificador monofásico de onda completa?

$$V_{cd} = 2V_m / \pi = 0.6366 V_m$$

2.3.23 ¿Qué es la frecuencia fundamental del voltaje de salida de un rectificador monofásico de onda completa?

La salida de un rectificador de onda completa contiene sólo armónicas pares. La segunda armónica es la más dominante y su frecuencia es  $2f = 120 \text{ Hz}$ .

2.3.24 ¿Cuáles son las ventajas de un rectificador trifásico sobre un monofásico?

Que el rectificador trifásico se utiliza para aplicaciones de potencia mayores a 15 KW y el rectificador monofásico a potencias menores de 15 KW.

2.3.25 ¿Cuáles son las desventajas de un rectificador trifásico sobre un rectificador Multifase de media onda?

Que tienen una mayor frecuencia fundamental de armónicas, 10 veces la frecuencia de la fuente.

2.3.26 ¿ Cuáles son las ventajas de un puente rectificador sobre un rectificador en estrella de seis fases?

Que el puente rectificador trifásico tiene mayor ganancia de voltaje de CD, que el estrella de seis fases. La potencia de salida de CD será:

$$P_{cd} = I_{cd}^2 R; P_{cd} = E_m^2 / R (m/\pi \text{ sen}\pi/m)^2$$

2.3.27 ¿ Cuáles son los objetivos de los filtros en los circuitos de rectificación?

Para reducir el nivel de armónicas en la carga, el tamaño del filtro se reduce con el aumento de la frecuencia de las armónicas. (Suavizar la salida del voltaje en cd o del rectificador)

2.3.28 ¿ Cuáles son las diferencias entre los filtros de ca y cd?

Los filtros de cd normalmente son de L, C, LC, se utilizan para suavizar la salida de voltaje en cd del rectificador. Debido a la acción de rectificación la corriente de entrada del rectificador también contiene armónicas, para eliminar algunas de las armónicas del sistema de alimentación de energía, se utiliza un filtro de ca. (LC)

2.3.29 ¿ Cuáles son los efectos de las inductancias de la fuente sobre el voltaje de salida de un rectificador?

Hace que la transferencia de corriente de la alimentación hacia los diodos no sea instantánea.

2.3.30 ¿ Cuáles son los efectos de las inductancias de la fuente sobre el voltaje de salida de un rectificador?

Una inductancia en la carga ofrece una alta impedancia para las corrientes armónicas y actúa como un filtro para reducirlas. Sin embargo esta inductancia introduce un retraso de la corriente de carga con respecto al voltaje de entrada; en el caso de un rectificador de media onda monofásico, se requiere de un diodo de marcha libre para permitir una trayectoria para esta corriente inductiva.

2.3.31 ¿ Qué es la conmutación de diodos?

Cuando un diodo en serie con una red RL es auxiliado con otro diodo en paralelo en la red RL(diodo de marcha libre) el efecto de este diodo es prevenir que un voltaje negativo aparezca a través de la carga y como resultado de la energía magnética almacenada se incrementa. En  $t=\pi/\omega$  (mitad del ciclo), la corriente del diodo es transferida al diodo de marcha libre y este proceso es llamado conmutación de diodos.

2.3.32 ¿ Qué es el ángulo de conmutación de un rectificador?

En un rectificador de tres fases hay un cierto período en el cual los voltajes de ánodo de los dos diodos son iguales, y ambos diodos conducen, éste período es llamado ángulo de conmutación.

2.4.1 ¿ Qué es la característica V-I de los tiristores?

Es la gráfica de corriente del tiristor contra voltaje entre terminales del tiristor

2.4.2 ¿Qué es la condición inactiva de los tiristores?

Es cuando el ánodo del tiristor es positivo con respecto al cátodo, 2 de las 3 uniones internas del tiristor están directamente polarizadas, mientras que la unión central se encuentra polarizada inversamente y solo deja pasar una pequeña corriente de fuga.

2.4.3 ¿Qué es la condición activa de los tiristores?

Cuando en la condición de apagado, el voltaje ánodo-cátodo VAK se incremento a un valor suficientemente grande, la unión inversamente polarizada se rompe y el tiristor comienza a conducir.

2.4.4 ¿Qué es la corriente de enganche entre tiristores?

Es la mínima corriente del ánodo requerida para mantenerlo encendido, inmediatamente después que ha sido encendido y la señal de compuerta ha sido removida.

2.4.5 ¿Qué es la corriente de mantenimiento de los tiristores?

Es la corriente directa del ánodo por debajo de la cual el tiristor se bloqueará.

2.4.6 ¿Cuál es el modelo del tiristor con dos transistores?

La acción regenerativa o de enganche debido a la retroalimentación directa se puede demostrar mediante un modelo de tiristor de dos transistores.

2.4.7 ¿Cuáles son los procedimientos para activar los tiristores?

Por temperatura, por luz, por alto voltaje,  $dv/dt$  y corriente de compuerta.

2.4.8 ¿Cuál es el tiempo de activación de los tiristores?

Es el tiempo entre la aplicación de señal de compuerta y la conducción plena del tiristor. Se define como el intervalo de tiempo entre el 10% de la corriente de edo. estacionario de la compuerta y el 90% de la corriente del tiristor en edo. encendido y estacionario.

2.4.9 ¿Cuál es el objetivo de la protección  $di/dt$  ?

Evitar que un dispositivo falle como resultado de la excesiva temperatura de un punto caliente (HOT-SPOT) causado por la velocidad de flujo de corriente muy rápida, comparada con la velocidad del proceso de encendido del tiristor.

2.4.10 ¿Cuál es el método común de protección  $di/dt$  ?

Es la adición de una inductancia en serie con el elemento.

2.4.11 ¿Cuál es el objetivo de la protección  $dv/dt$  ?

Es para que no se active por un transitorio de voltaje, o un voltaje que sea demasiado rápido.

2.4.12 ¿Cual es el método común de protección de  $dv/dt$  ?

Con un circuito RC conectado en paralelo conocido como circuito de freno

2.4.13 ¿Cuál es el tiempo de desactivación de los tiristores ?

Es el mínimo valor del intervalo de tiempo entre ese instante en que la corriente del estado encendido ha decrecido a cero y en ese instante en que el tiristor es capaz de resistir un voltaje directo sin encenderse.

2.4.14 ¿Cuales son los tipos de tiristores ?

Tiristores de control de fase de conmutación rápida, triac, rct, fet-ch. mct, y los de desactivación por compuerta

2.4.15 ¿Qué es un SCR?

Por lo general opera a la frecuencia de línea y desactiva por la conmutación natural. Es básicamente un dispositivo fabricado de silicio

2.4.16 ¿Cuál es la diferencia entre SCR y un TRIAC ?

Utilizan aplicaciones de conmutación de alta velocidad con conmutación Reforzada. El TRIAC puede conducir en ambas direcciones y normalmente el control es por fase

2.4.17 ¿Cuál es la característica de desactivación de los tiristores ?

La desactivación es el control de la compuerta que es la que resulta más  $dv/dt$  alto.

2.4.18 ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los GTO?

La eliminación de las compuertas auxiliares en la conmutación forzada que da como resultado una reducción de costo peso y volumen, la reducción del ruido acústico, la desactivación más rápida y más eficiente

2.4.19 ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los SITH ?

Tiene velocidades de conmutación muy rápidas y capacidades altas de  $dv/dt$  y  $di/dt$  es extremadamente sensible a su proceso de fabricación voltaje 25000 V.

2.4.20 ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los RCT ?

*Ventajas:* Se conoce como tiristor con diodo en paralelo inverso integrado y tiene características de dispositivo y requerimientos del circuito.

*Desventajas:* Se limita a diseños de circuitos muy específicos, ya que su bloque inverso es de 30 a 40 V.

2.4.21 ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los LASCR ?

Se aplican en alto voltaje y corriente ofrece total aislamiento eléctrico entre la fuente de disparo luminoso

2.4.22 ¿Cuáles son los dos tipos generales de conmutación?

Conmutación natural  
Conmutación Forzada

2.4.23 ¿ Cuáles son los tipos de conmutación de forzada?

1. Auto-conmutación
2. Conmutación por impulso
3. Conmutación por pulso resonante
4. Conmutación complementaria
5. Conmutación por pulso externo
6. Conmutación del lado de la carga
7. Conmutación del lado de la línea

2.4.24 ¿Cuál es la diferencia entre conmutación automática y natural?

Que la corriente del tiristor pasa a través de un cero natural, y a través del tiristor aparece un voltaje inverso.

2.4.25 ¿Cuál es el principio de auto conmutación?

En este tipo de conmutación el tiristor es desactivado debido a las características naturales del circuito, se dice que el tiristor esta auto-conmutado.

2.4.26 ¿Cuál es el principio de la conmutación por impulso?

Se supone que el capacitor está cargado inicialmente a un voltaje de  $-V_o$ . Supongamos que el tiristor T1 está inicialmente conduciendo y tiene una corriente de carga  $m$ . Cuando se dispara el tiristor auxiliar T2, el tiristor T1 queda con polarización inversa, debido al voltaje del capacitor, y T1 se desactiva. La corriente a través del tiristor T1 dejará de fluir y el capacitor conducirá la corriente de carga.

2.4.27 ¿Cuál es el principio de la conmutación por pulso resonante?

El capacitor se carga inicialmente con la polaridad positiva estando el tiristor T1 en modo de conducción, con una corriente de carga  $m$ .

2.4.28 ¿Cuál es el principio de la conmutación complementada?

Se utiliza para transferir corriente entre dos cargas; el disparo del tiristor conmuta a otro. Dado que cada varistor se desconecta debido a la conmutación por impulso, éste tipo de conmutación se le conoce como conmutación complementaria por impulso.

2.4.29 ¿Cuál es el principio de la conmutación por pulso externo?

Para desactivar un tiristor que está conduciendo, se utiliza un pulso de corriente que se obtiene de un voltaje externo.

2.4.30 ¿ Cuáles son las diferencias entre la conmutación del lado de línea y de las de carga?

En la conmutación del lado de carga, la carga forma un circuito en serie con el capacitor, los circuitos de conmutación no pueden probarse sin conectar la carga. En la conmutación del lado de la carga, la descarga y recarga del capacitor no se

llevan a cabo a través de la carga, por lo que el circuito de conmutación se puede probar sin conectada.

2.4.31 ¿ Cuáles son las diferencias entre la conmutación por voltaje y por corriente?

En el proceso de desactivación de un tiristor, causa la transferencia del flujo de corriente a otras partes del circuito, cuando el tiristor está en modo de conducción, su caída de voltaje es pequeña

2.4.32 ¿ Cuáles son los objetivos del circuito de conmutación?

Es desactivar al tiristor, la corriente en sentido directo del tiristor se obliga a pasar por cero utilizando un circuito adicional.

2.4.33 ¿ Por qué debe ser mayor el tiempo de polarización inversa disponible que el tiempo de desactivación de un varistor?

El tiempo de descarga dependerá de la corriente de la carga, suponiendo una corriente de carga constante  $m$ .

2.4.34 ¿Cuál es el objetivo de conectar un diodo en paralelo inverso a través del tiristor principal, con o sin un inductor en serie?

La utilización de un diodo hace que el tiempo de desactivado dependa menos carga.

2.4.35 ¿Cuál es la relación entra la corriente de pico resonante y la carga para una conmutación por pulso resonante que minimice las pérdidas de conmutación?

Debido a la corriente de resonancia, la corriente en sentido directo del tiristor  $T_1$  se reduce a cero en  $t = t_i$  cuando la corriente de resonancia se iguala con la corriente de carga  $m$ .

2.4.36 ¿ Cuáles son las expresiones para el valor óptimo de un capacitor y de un inductor de conmutación en una conmutación por pulso resonante?

$$V_c(t = t_i) = -V_i = -V_o \cos \omega m t_i$$

2.4.37 ¿ Por qué se sobrecarga el capacitor de conmutación en una conmutación por pulso resonante?

Ya que sus características de comportamiento son inversas. Porque cuando en el inductor la corriente es máxima, en el capacitor el voltaje es máximo y puesto que hay corriente máxima ésta tiende a acumularse como voltaje en el capacitor.

2.4.38 ¿ Cómo se invierte el voltaje del capacitor de conmutación en un circuito de conmutación?

Después del tiempo  $t = t_{off}$   $t_{off} = n/LC$ , la corriente se convierte en cero y el voltaje del capacitor se invierte a  $V_o$ .

2.4.39 ¿Cuál es el tipo de capacitor que normalmente se utiliza en altas frecuencias de conmutación?

En la selección del capacitor de conmutación, deberá de satisfacer las especificaciones de corriente de pico, RMS y promedio, así como el voltaje de pico a pico.

2.4.40 ¿Qué es un disipador de calor?

Es un elemento de Aluminio extruido con aletas de enfriamiento para aumentar la capacidad de transferencia de calor.

2.4.41 ¿Cuál es el análogo eléctrico de la transferencia de energía correspondiente a un dispositivo semiconductor de potencia?

Inicialmente el  $V_c = -V_s$  y debido a la corriente de resonancia, ésta se hace cero en el sentido directo del tiristor y entonces el capacitor se vuelve a cargar hasta el voltaje de alimentación.

2.4.42 ¿Cuáles son las precauciones a tomar para el montaje de un dispositivo en un disipador de calor?

1. El área de contacto entre el dispositivo y el disipador debe ser planas, lisas y libres de suciedad, corrosión y óxido superficiales.
2. Seguir el procedimiento de instalación generalmente los proporciona el fabricante.
3. En los dispositivos montados con pernos, no proporcionar pares de torsión de montajes excesivos, podría dañarse el dispositivo. El perno y la rosca no deben lubricarse ya que la lubricación aumenta la tensión sobre el perno.

2.4.43 ¿Qué es una tubería de calor?

Son tuberías parcialmente llenas con un líquido de vapor de baja presión de vapor producido por el dispositivo vaporiza el líquido y el vapor fluye al otro extremo, donde se condensa, regresando el líquido a la fuente de calor.

2.4.44 ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de las tuberías de calor?

*Ventajas:* Disipa fácilmente el calor.

*Desventajas:* La tubería de calor puede provocar daños en los elementos al tener agua dentro de estas.

2.4.45 ¿Cuáles las ventajas y desventajas del enfriamiento por agua?

*Ventajas:* Que el agua disipa fácilmente el calor tres veces mas eficaz que el aceite.

*Desventajas:* La tubería de calor puede provocar daños en los elementos al tener fugas en estas y requieren anticongelantes en época de frío.

2.4.46 ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la refrigeración por aceite?

*Ventajas:* Proporciona un buen aislamiento y elimina problemas de corrosión y de congelamiento.

*Desventajas:* Es inflamable.

2.4.47 ¿Porqué es necesario determinar la temperatura instantánea de unión de un dispositivo?

Si en los sistemas reales falla el medio de enfriamiento la elevación de la temperatura de los disipadores de calor sube, y deben servir para interrumpir los convertidores de potencia.

2.4.48 ¿Qué es un circuito de apoyo polarizado?

Es un circuito RC aplicado a un tiristor o transistor y está conectado con un diodo en paralelo inverso y en serie con el RC, para limitar el transitorio de voltaje.

2.4.49 ¿Qué es un circuito de apoyo no polarizado?

Es el que limita el transitorio de voltaje  $dv/dt$  pero no lleva diodos, es solo el circuito RC con dos transistores.

2.4.50 ¿Cuál es la causa del voltaje transitorio de recuperación inversa?

La energía que queda atrapada en las inductancias del circuito.

2.4.51 ¿Cuál es el valor típico del factor de amortiguamiento para un circuito de apoyo RC?

$$\delta = \alpha/\omega_0 = 0.5$$

2.4.52 ¿Cuales son las consideraciones que deben tomarse en cuenta en el diseño de los componentes óptimos de un circuito de apoyo RC?

El circuito de apoyo puede o no estar polarizado. Un circuito de apoyo polarizado directo es adecuado cuando un tiristor o transistor esta conectado con un diodo paralelo inverso.

2.4.53 ¿Cuál es la causa de los voltajes transitorios del lado de la carga?

A fin de limitar el voltaje transitorio se puede conectar un capacitor a través del primario o del secundario del transformador, en la practica se conecta una resistencia en serie con el capacitor.

2.4.54 ¿Cuál es la causa de los voltajes transitorios del lado de la alimentación?

Por lo general se conecta un transformador en el lado de la entrada de los convertidores bajo condiciones de régimen permanente, se almacena una cantidad de energía en la inductancia de magnetización,  $L_m$ , del transformador y al conmutar la alimentación se produce un voltaje transitorio a la entrada.



2.4.55 ¿ Cuales son las características de los diodos de selenio?

Este tipo de diodos tiene un voltaje directo bajo, pero un voltaje de ruptura bien definido.

2.4.56 ¿ Cuales son las ventajas y desventajas de los varistores en la supresión de voltaje?

*Ventajas:* Limitan el voltaje transistores a magnitud bien definida

*Desventajas:* No limitan a los transistores en el mismo grado que en un circuito RC debido a que el varistor es mas lento y por su confiabilidad esta por debajo de circuito RC.

2.4.57 ¿Cuál es el tiempo de fusión de un fusible?

Es el tiempo que la corriente que pasa por el fusible en un circuito determinado llega al valor pico permitido es decir es el tiempo que tarda en elevarse la corriente de falla hasta que el fusible se funde.

2.4.58 ¿ Cual es la corriente de falla posible?

Es cuando la corriente de falla llaga a su primer pico, esta corriente que podría haberse elevado sino existiera fusible, se denomina corriente de falla posible.

2.4.59 ¿ Cuales son las consideraciones a tomar en cuenta en la selección de un fusible para un dispositivo semiconductor?

1. El fusible debe conducir en forma continua la corriente de especificación del dispositivo.
2. El valor permitido del fusible antes que se libere la falla debe ser menor que el dispositivo protegido.
3. El fusible debe ser capaz de soportar el voltaje después de la especificación de voltaje de pico del dispositivo.
4. El voltaje de arco en su valor pico debe ser menor que la especificación de voltaje de pico del dispositivo.

2.4.60 ¿ Qué es un crowbar?

Es un circuito que sirve para proteger circuitos o equipos bajo condiciones de falla en las que la cantidad de energía involucrada resulta demasiado alta y no se puede utilizar los circuitos normales de protección. ejemplo: un transistor BJT que forma parte de un circuito donde ocurre un corto y este hace que la corriente aumente trayendo como consecuencia que el transistor se sale de saturación y la corriente de base no se modifica y ocasiona que se dañe el transistor aun cuando la corriente de falla no sea suficiente par fundir el fusible.

2.4.61 ¿ Cuales son los problemas para la protección de transistores bipolares mediante fusibles?

Puede ocurrir un corto circuito produciendo un aumento de corriente y de voltaje por lo tanto existe mas potencia disipada en el transistor y daña a este sin fundir el fusible.

2.4.62 ¿ Cuales son los problemas de instalación de fusibles en circuitos de C.D.?

Como la corriente de corto circuito depende del tiempo del corto esta puede ser muy baja para no fundir el fusible de lo contrario si la corriente aumenta muy lentamente tampoco se funde el fusible.

2.5.1 ¿ Qué es una conmutación natural o de línea?

Si el voltaje de alimentación es de CA la corriente de tiristor pasa a través de un cero natural, y a través del tiristor aparece un voltaje inverso.

2.5.2 ¿ Qué es un rectificador controlado?

Estos convierten CA en CD y se conocen como convertidores CA-CD y se utilizan en forma extensa en aplicaciones industriales en propulsores de velocidad variable, con potencias mínimas hasta megawatts.

2.5.3 ¿ Qué es un convertidor?

Un dispositivo que convierte la potencia de una forma a otra, se puede considerar como matriz de conmutación

2.5.4 ¿ Qué es el control de ángulo de retraso de los convertidores?

Es cuando el voltaje de entrada empieza a hacerse positivo hasta que se dispara el tiristor a este ángulo es conocido como alfa, ángulo de retraso o de activación.

2.5.5 ¿ Qué es un semiconvertidor?

Es un convertidor de un cuadrante, y tiene una misma polaridad de voltaje y de corriente de salida

2.5.6 ¿ Qué es un convertidor completo?

Es un convertidor de dos cuadrantes, la polaridad de su voltaje de salida puede ser positiva o negativa, la corriente de salida solo tiene una polaridad

2.5.7 ¿ Qué es un convertidor dual?

Este puede operar un cuatro cuadrantes, y tanto su voltaje como su corriente de salida pueden ser positivos como negativos

2.5.8 ¿Cuál es el principio de control de fase?

Durante el medio ciclo positivo de voltaje de entrada, el ánodo de tiristor es positivo con respecto al cátodo por lo que se dice que el tiristor tiene polarización inversa.

2.5.9 ¿ Cuáles son los efectos de eliminar el diodo de marcha libre en los semiconvertidores monofásicos?

Deja de conducir y no proporciona continuidad de corriente de la carga inductiva.

2.5.10 ¿ Porqué es mejor el factor de potencia de los semiconvertidores que el de los convertidores completos?

Porque el semiconvertidor tiene la misma polaridad de voltaje y corriente de salida.

2.5.11 ¿Cuál es la causa de la corriente circulante en los convertidores duales?

Los voltajes instantáneos de salida de los dos convertidores están fuera de fase, existe una diferencia instantánea de voltaje.

2.5.12 ¿ Por qué se requiere de un inductor de corriente circulante en los convertidores duales?

Porque la corriente no fluirá a través de la carga y por lo general estará limitada

2.5.13 ¿ Cuáles son las ventajas y las desventajas de los convertidores en serie?

*Ventajas:* Se puede conectar en serie para compartir el voltaje y mejorar el factor de potencia.

*Desventajas:* No deben perder sincronía y operar al mismo tiempo.

2.5.14 ¿ Cómo esta relacionado el ángulo de retraso de un convertidor con el ángulo de retraso de otro convertidor en un sistema dual?

Que uno funciona como convertidor 1 y 2 respectivamente y el otro funciona como inversor pero ambos conducen el mismo voltaje.

2.5.15 ¿Cuál es el modo de inversión de los convertidores?

El voltaje de entrada es negativo y la corriente de entrada positiva, existiendo un flujo inverso de potencia, de la carga hacia la alimentación.

2.5.16 ¿Cuál es el modo de rectificación de los convertidores?

El voltaje de entrada y la corriente de entrada son positivos, la potencia fluye de la alimentación a la carga.

2.5.17 ¿Cuál es la frecuencia de la armónica de orden menor en semiconvertidores trifásicos?

$3 f_s$

2.5.18 ¿Cuál es la frecuencia de la armónica de orden menor en los convertidores completos trifásicos?

$f_s$

- 2.5.19 ¿Cuál es la frecuencia de la armónica de orden menor en los semiconvertidores monofásicos?  
2 fs
- 2.5.20 ¿Cómo se activan y desactivan los tiristores disparados por compuerta?  
Puede activarse mediante la aplicación de una señal positiva de compuerta, y se desactiva mediante una señal negativa de compuerta.
- 2.5.21 ¿Cómo se activa y desactiva un tiristor de control de fase?  
Se activa cuando el voltaje de entrada es positivo, el ánodo del tiristor es positivo con respecto al cátodo y se desactiva cuando el voltaje de entrada empieza a hacerse negativo cuando ánodo es negativo con respecto al cátodo.
- 2.5.22 ¿Qué es la conmutación forzada? ¿Cuáles son las ventajas de la conmutación forzada para los convertidores de CA-CD?  
El voltaje de entrada es de CD para desactivar al tiristor la corriente en sentido directo de tiristor se obliga a pasar por cero utilizando un circuito adicional llamado circuito de conmutación.
- 2.5.23 ¿Qué es el control de ángulo de extinción de los convertidores?  
Cuando la corriente pasa por cero y el tiristor se desactiva.
- 2.5.24 ¿Qué es el control de ángulo simétrico de los convertidores?  
El control del ángulo es el que permite la operación en un cuadrante.
- 2.5.25 ¿Qué es el control de modulación de ancho de pulso de los convertidores?  
Es PWM los conmutadores de convertidor se cierran y se abren varias veces durante medio ciclo, el voltaje de salida se controla variando el ancho de los pulsos.
- 2.5.26 ¿Qué es el control por modulación senoidal de ancho de pulso de un convertidor?  
Genera los anchos de pulso comparando un voltaje de referencia triangular de amplitud y la frecuencia con un voltaje semi senoidal portador de amplitud y de frecuencia.
- 2.5.27 ¿Cómo se varia el voltaje de salida de un convertidor de un control de fase?  
 $V_{cd}$  puede variar desde  $V_m = 1$  hasta 0, al variar  $\alpha$  desde 0 hasta  $\pi$  radianes. El voltaje promedio de salida se hace máximo en cero.
- 2.5.28 ¿Cómo se varia el voltaje de salida en un convertidor con control por modulación senoidal de ancho de pulso?  
Varia al modificar la amplitud AC el índice de modulación M desde 0 hasta 1

2.5.29 ¿ Depende el ángulo de conmutación del ángulo de retraso de los convertidores?

Sí

2.5.30 ¿ Depende la caída de voltaje ocasionada por inductancias de conmutación, el ángulo de retraso de los convertidores?

No

2.5.31 ¿ Depende el factor de potencia de entrada de los convertidores del factor de potencia de la carga?

Sí

2.5.32 ¿ Dependen del ángulo de retraso los voltajes de las componentes ondulatorias de salida de los convertidores?

No

2.6.1 ¿ Cuáles son las ventajas y las desventajas del control de abrir y cerrar?

*Ventajas:* Se utiliza en aplicaciones que tienen una alta inercia mecánica y una alta constante de tiempo térmica.

*Desventajas:* Debido a la conmutación en voltaje y corriente cero de los varistores las armónicas generadas por las acciones de conmutación existen.

2.6.2 ¿ Cuáles son las ventajas y las desventajas del control de ángulo de fase?

*Ventajas:* El rango de control está limitado y el voltaje RMS efectivo de salida solo puede variar entre 70 y 100.

*Desventajas:* El voltaje de salida y la corriente de entrada son asimétricos y contienen una componente de CD.

2.6.3 ¿ Cuáles son los efectos de la inductancia de carga sobre el rendimiento de los controladores de voltaje de CA?

El tiristor puede o no desactivarse en cada medio ciclo de voltaje de entrada y esto puede ocasionar una pérdida de control.

2.6.4 ¿ Qué es el ángulo de extinción?

El ángulo  $\theta$  o de extinción es cuando la corriente pasa por cero y el tiristor se desactiva.

2.6.5 ¿ Cuáles son las ventajas y desventajas de los controladores unidireccionales?

*Ventajas:* Contiene corriente de entrada CD y un contenido de armónica más alto debido a la naturaleza asimétrica de la forma de onda voltaje de salida.

*Desventajas:* No se utilizan normalmente en los impulsores para motores de CA. Por lo general se utiliza un control bidireccional trifásico.

2.6.6 ¿ Cuáles son las ventajas y desventajas de los controladores bidireccionales?

*Ventajas:* Las operaciones de éste controlador es similar a la de un controlador de media onda.

*Desventajas:* La trayectoria de la corriente de regreso está dada por los tiristores en vez de los diodos.

2.6.7 ¿ Qué es el arreglo de control de amarre?

Es un dispositivo de potencia bidireccional trifásico se puede juntar una conexión y permite el ensamble de todos los varistores como una sola unidad.

2.6.8 ¿ Cuáles con los pasos necesarios para determinar las formas de ondas de voltaje de salida de los controladores trifásicos unidireccionales?

Para  $0 < \theta < 60^\circ$  dos tiristores conducen inmediatamente antes del disparo de T1 una vez disparado T1 conducen tres tiristores.

2.6.9 ¿ Cuáles son las ventajas de los controladores conectados en delta?

*Ventajas:* Requieren únicamente de tres tiristores y simplifica la circuitería de control.

2.6.10 ¿ Cuál es el rango de control de ángulo de retraso para los controladores monofásicos unidireccionales?

$$0 < \theta < 150^\circ$$

2.6.11 ¿ Cuál es el rango de control de ángulo de retraso para los controladores monofásicos bidireccionales?

$$0 < \pi - \alpha_1 < 60.1$$

2.6.12 ¿ Cuál es el rango de control de ángulo de retraso para los controladores trifásicos unidireccionales?

$$0 < \alpha$$

2.6.13 ¿ Cuáles son las ventajas de los cambiadores de derivaciones de transformador?

*Ventajas:* Tiene la ventaja de una acción de conmutación muy rápida.

2.6.14 ¿ Cuáles son los métodos de control del voltaje de salida de los cambiadores de derivaciones de transformador?

En el rango de control  $0 < V_o$  para variar el voltaje de la carga dentro de este rango, se desactivan los tiristores T1 y T2. Rango de control  $0 \rightarrow V_o < (v_1 + v_2)$ , Los tiristores T3 y T4 están desactivados. Rango de control  $V_1 < V_o \ll (V_1 + V_2)$ , el varistor T3 se activa en  $\omega t = 0$  y el voltaje en el secundario V1 aparece a través de la carga.

2.6.15 ¿ Qué es un cambiador de derivaciones sincrónico?

Es el voltaje secundario  $V_1$  aparece a través de la carga, en tanto  $T_2$  se dispare  $\omega t = 7\pi + a$  Cuando  $T_2$  se dispara en  $\omega t = 7\pi + a$   $T_4$  se desactiva debido al voltaje inverso  $V_2$  y el voltaje de carga es  $(V_1 + V_2)$  En  $\omega t = 2\pi$ ,  $T_2$  es auto conmutado  $T_3$  se vuelve a activar y el ciclo se repite a este tipo de control se le conoce cambiador asíncrono.

2.6.16 ¿ Qué es un ciclo-convertidor?

Es un cambiador de frecuencia directa que convierte la potencia de ca a una frecuencia en potencia de frecuencia alterna a otra frecuencia mediante conversión de CA a CA sin necesidad de un eslabón de conversión intermedia.

2.6.17 ¿ Cuáles son las ventajas de un ciclo convertidor?

*Ventajas:* Se puede obtener un voltaje de salida variable a frecuencias variables a partir de conversiones de dos etapas CA fija a CD variable ( rectificadores controlados) y CD variable a CA variable a una frecuencia variable ( inversores) Sin embargo los ciclo convertidores pueden eliminar la necesidad de uno o más convertidores intermedios.

2.6.18 ¿ Cuáles son las ventajas y las desventajas de los controladores de voltaje de CA?

Suministran un voltaje de salida variable pero la frecuencia del voltaje de salida es fija y además el contenido armónico es alto, especialmente en el rango del voltaje de salida baja.

2.6.19 ¿Cuál es el principio de operación del ciclo convertidor?

La mayor parte de los ciclo-convertidores son de conmutación natural, estando la frecuencia de salida máxima limitada a un valor que es solo una fracción de la frecuencia de la fuente. Como resultado, la aplicación de mayor importancia de los ciclo-convertidores son los motores electrónicos de baja velocidad.

2.6.20 ¿ Cuáles con los efectos de la inductancia de la carga sobre el rendimiento de los ciclo-convertidores?

Permiten la síntesis y la puesta en práctica de estrategias avanzadas de conversión para cambiadores directos de frecuencia de conmutación forzada, a fin de optimizar la eficiencia y reducir los contenidos armónicos.

2.6.21 ¿ Cuáles son tres disposiciones posibles para un controlador monofásico de voltaje de CA de onda completa?

Si el convertidor P esta operando solo, el voltaje promedio de salida es positivo, y si el convertidor N esta operando, el voltaje de salida es negativo.

2.6.22 ¿ Cuáles son las ventajas de las técnicas de reducción armónica senoidal de los ciclo-convertidores?

Suprime los pulsos de compuerta hacia el convertidor que no esta suministrando corriente de carga

2.6.23 ¿ Cuáles son los requisitos de señal de compuertas de los tiristores para controladores de voltaje con carga RL?

Las especificaciones de los dispositivos de potencia deben diseñarse para las condiciones de peor caso, que ocurrirán cuando el convertidor suministre el valor rms máximo de voltaje de salida.

2.6.24 ¿ Cuáles son los efectos de las inductancias de alimentación y de carga?

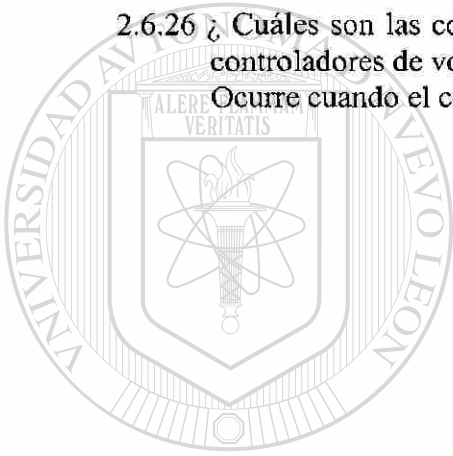
El efecto de cualquier inductancia de alimentación sería retrasar la desactivación de los varistores.

2.6.25 ¿ Cuáles son las condiciones de diseño en peor caso de dispositivos de potencia para controladores de voltaje de CA?

Ocurre cuando el convertidor suministre el valor máximo de velocidad deberá determinarse el ángulo de retraso

2.6.26 ¿ Cuáles son las condiciones de diseño en peor caso de los filtros de carga para controladores de voltaje de CA?

Ocurre cuando el convertidor suministre el valor máximo del voltaje de salida.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





## PROBLEMAS

### Problema 2.2.1

El tiempo de recuperación inversa de un diodo es  $t_{rr}=5\mu s$ , y la velocidad de reducción de la corriente del diodo es  $di/dt= 80 A/\mu s$ . Si el factor de suavidad es  $SF= 0.5$ , determine la carga de almacenamiento  $Q_{rr}$  y la corriente inversa pico  $I_{rr}$ .

$$t_{rr}=5 \mu s \text{ and } di/dt = 80 A/\mu s$$

$$a) \text{ Ecuación } t_{rr} = \sqrt{\frac{2Q_{RR}}{di/dt}}$$

$$Q_{RR} = 0.5 (di/dt) t_{rr}^2 = 0.5 \times 80 \times 5^2 \times 10^{-6} = 1000 \mu C$$

$$b) \text{ Ecuación } I_{RR} = \sqrt{2Q_{RR} \frac{di}{dt}}$$

$$I_{RR} = \sqrt{2Q_{RR} di/dt} = \sqrt{2 \times 1000 \times 80} = 400 A$$

### Problema 2.2.2

Los valores medidos de un diodo a una temperatura de  $25^\circ C$  son  $V_{D1}= 1.0V$  a  $I_{D1}=50A$ ,  $V_{D2}=1.5V$  a  $I_{D2} = 600 A$ . Determine el coeficiente de emisión  $n$  y la corriente de fuga.  $V_T=25.8 \times 10^{-3} mV$

De la ecuación  $I_D = I_s (e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1)$  despejamos el logaritmo natural (base e)

$$\ln I_D = \ln I_s + \frac{V_D}{nV_T}$$

Después de la simplificación obtenemos el voltaje del diodo  $V_D$  el cual queda como

$$V_D = n V_T \ln\left(\frac{I_{D1}}{I_s}\right)$$

Si la corriente del diodo  $I_{D1}$ , corresponde al voltaje de diodo  $V_{D2}$ , obtenemos.

$$V_{D1} = V_T \log\left(\frac{I_{D1}}{I_s}\right)$$

Si  $V_{D2}$  es similar al voltaje del diodo, este corresponde a la corriente del diodo  $I_{D2}$ , y obtenemos.

$$V_{D2} = nV_T \ln\left(\frac{I_{D2}}{I_s}\right)$$

Por lo tanto, la diferencia dentro del voltaje del diodo puede ser expresada por

$$V_{D2} - V_{D1} = nV_T \ln\left(\frac{I_{D2}}{I_s}\right) - nV_T \ln\left(\frac{I_{D1}}{I_s}\right) = nV_T \ln\left(\frac{I_{D2}}{I_{D1}}\right)$$

$$a) \text{ Para } V_{D2} = 1.5 V, V_{D1} = 1.0V, I_{D2} = 600A, \text{ and } I_{D1} = 50A,$$

$$1.5 - 1.0 = n \times 0.0258 \times \ln\left(\frac{600}{50}\right), \text{ el resultado de } n = 7.799$$

$$b) \text{ Para. } V_{D1} = 1.0V, I_{D1} = 50A, \text{ y } n = 7.799$$

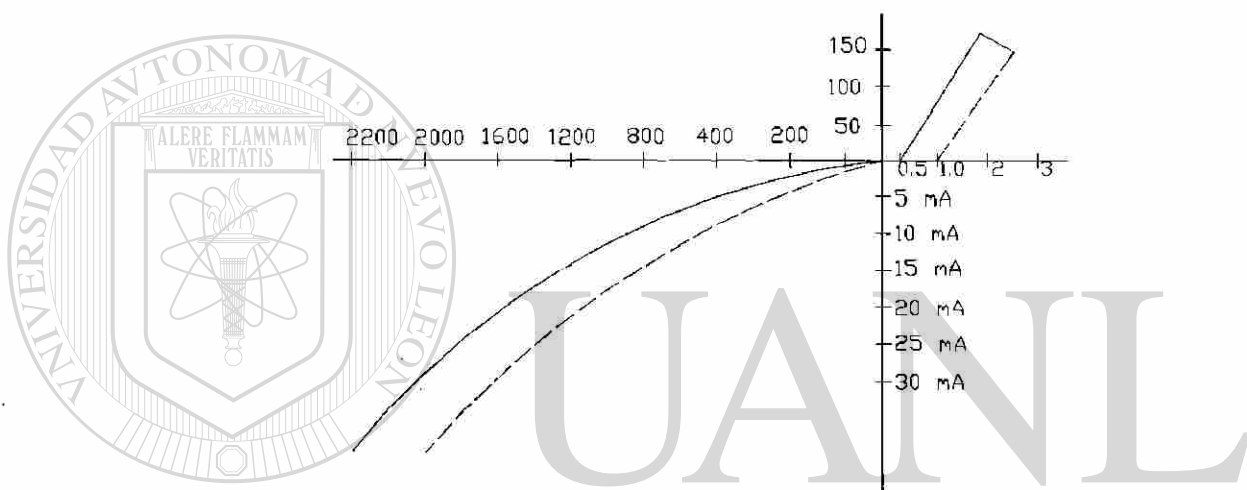
$$1.0 = 7.799 \times 0.0258 \times \ln\left(\frac{50}{I_s}\right), \text{ el resultado de } I_s = 0.347 A.$$

**Problema 2.2.3**

Dos diodos están conectados en serie y el voltaje a través de cada uno de ellos se mantiene igual mediante la conexión de una resistencia de distribución de voltaje, de tal forma que  $V_{D1} = V_{D2} = 2000 \text{ V}$  y  $R_1 = 100 \text{ K}\Omega$ . Las características  $V-I$  de los diodos aparecen en la figura P2.2.3. Determine las corrientes de fuga de cada diodo y la resistencia  $R_2$  a través del diodo  $D_2$

$$V_{D1} = V_{D2} = 2000 \text{ V}, \quad R_1 = 100 \text{ K}\Omega$$

a) De la figura P2.2.3,



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**Figura P2.2.3**

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Las corrientes son:  $I_{s1} = 17 \text{ mA}$  y  $I_{s2} = 25 \text{ mA}$

$$I_{R1} = \frac{V_{D1}}{R_1} = \frac{2000}{100000} = 20 \text{ mA}$$

b) De la ecuación,  $I_S = I_{S1} + I_{R1} = I_{S2} + I_{R2}$

$$17 + 20 = 25 + I_{R2}, \quad \text{o} \quad I_{R2} = 12 \text{ mA}$$

$$R_2 = 2000 / 12 \text{ mA} = 166.67 \text{ K}\Omega$$

**Problema 2.2.4**

Dos diodos están conectados en paralelo siendo la caída de voltaje directa a través de cada uno de ellos de 1.5 V. Las características  $V$ - $I$  de los diodos aparecen en la figura P2.2.3. Determine las corrientes directas a través de cada diodo.

Para  $V_D = 1.5V$ , figura P2.2.3 las corrientes  $I_{D1} = 140$  y  $I_{D2} = 50$  A

**Problema 2.2.5**

Dos diodos están conectados en paralelo, como se muestra en la figura 2.2.18a, con resistencias de repartición de corriente. Las características  $V$ - $I$  se muestran en la figura P2.2.3. La corriente total es  $I_T = 200$  A. El voltaje a través de un diodo y su resistencia es  $V = 2.5$  V. Determine los valores de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  si la corriente se comparte en forma ideal entre ambos diodos.

$$I_T = 200 \text{ A}, \quad V = 2.5$$

$$I_1 = I_2, \quad I_1 = \frac{I_T}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ A}$$

Para  $I_1 = 100$  A, Figura P2.2.3 los valores son  $V_{D1} = 1.1$  V y  $V_{D2} = 1.95$  V

$$v = V_{D1} + I_1 R_1 \quad \text{o} \quad 2.5 = 1.1 + 100 R_1 \quad \text{o} \quad R_1 = 14 \text{ m}\Omega$$

$$v = V_{D2} + I_2 R_2 \quad \text{o} \quad 2.5 = 1.95 + 100 R_2 \quad \text{o} \quad R_2 = 5.5 \text{ m}\Omega$$

**Problema 2.2.6**

Dos diodos están conectados en serie. La resistencia a través de los diodos es de  $R_1 = R_2 = 10\text{k}$

El voltaje de entrada de corriente directa es  $V_D = 5$  Kv. Las corrientes de fuga son  $I_{S1} = 25$  mA e  $I_{S2} = 40$  mA. Determine el voltaje en cada diodo.

$$R_1 = R_2 = 10\text{K}\Omega, \quad V_S = 5\text{kV}, \quad I_{S1} = 25 \text{ mA}, \quad I_{S2} = 40 \text{ mA}$$

$$\text{De la ecuación (2-18), } I_{S1} + I_{R1} = I_{S2} + I_{R2}$$

$$\text{o } I_{S1} + \frac{V_{D1}}{R_1} = I_{S2} + \frac{V_{D2}}{R_2}$$

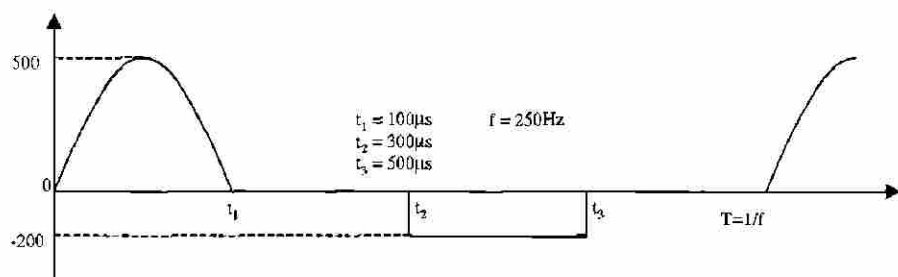
$$25 \times 10^{-3} + \frac{V_{D1}}{10000} = 40 \times 10^{-3} + \frac{V_{D2}}{10000}$$

$$V_{D1} + V_{D2} = V_S = 5000$$

Resolviendo para  $V_{D1}$  y  $V_{D2}$  el resultado es  $V_{D1} = 2575$  v y  $V_{D2} = 2425$  V

**Problema 2.3.1**

En la figura P2.3.1 aparecen las formas de onda de corriente de un capacitor. Determine las especificaciones promedio, rms y pico de este capacitor.



**Figura P2.3.1**

$$t_1 = 100\mu\text{s}, t_2 = 300\mu\text{s}, t_3 = 500\mu\text{s}. f = 250\text{Hz}. f_s = 250\text{Hz},$$

$$I_m = 500 \text{ A} \text{ y } I_a = 200\text{A}$$

a) La corriente promedio es  $I_{av} = 2I_m \frac{ft_1}{\pi} - I_a (t_3 - t_2)f = 7.96 - 10 = -2.04\text{A}.$

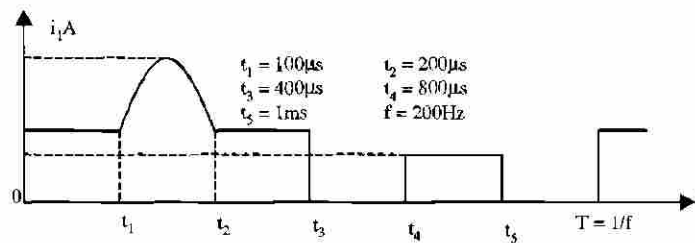
b) Para la onda senoidal,  $I_{r1} = I_m \sqrt{(ft_1/2)} = 55.9\text{A}$  y para la onda rectangular negativa,  $I_{r2} = I_a \sqrt{[f(t_3 - t_2)]} = 44.72\text{A}$

La corriente rms es  $I_{rms} = \sqrt{(55.9^2 + 44.72^2)} = 71.59\text{A}$

c) La corriente pico varía de 500A a -200A.

**Problema 2.3.2**

Las formas de onda de la corriente que fluye a través de un diodo aparecen en la figura P2.3.2. Determine las especificaciones de corriente promedio, rms y pico del diodo.



**Figura P2.3.2**

$$t_1 = 100 \mu\text{s}, \quad t_2 = 200 \mu\text{s}, \quad t_3 = 400 \mu\text{s}, \quad t_4 = 800 \mu\text{s}, \quad f = 200 \text{ Hz},$$

$$I_a = 150 \text{ A}, \quad I_b = 100 \text{ A} \quad \text{y} \quad I_p = 300 \text{ A}$$

a) La corriente promedio es

$$I_{av} = I_a f t_3 + I_b f (t_5 - t_4) + 2(I_p - I_a) f (t_2 - t_1) / \pi =$$

$$15 + 5 + 2.387 = 22.387 \text{ A}.$$

b)  $I_{r1} = (I_p - I_a) \sqrt{[f(t_2 - t_1)]/2} = 16.77 \text{ A}, \quad I_{r2} = I_a \sqrt{f t_3} = 47.43 \text{ A}$

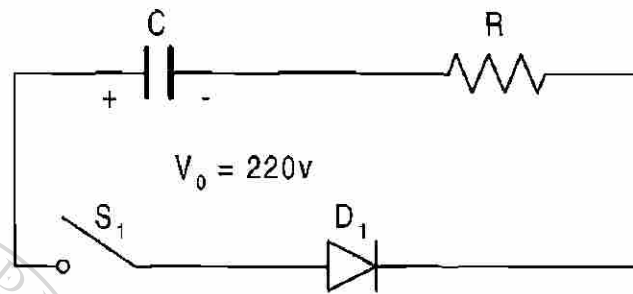
y  $I_{r3} = I_b \sqrt{[f(t_5 - t_4)]} = 22.36 \text{ A}.$

La corriente rms es  $I_{rms} = \sqrt{(16.77^2 + 47.43^2 + 22.36^2)} = 55.05 \text{ A}$

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**Problema 2.3.3**

Un circuito de diodo se muestra en la figura P2.3.3 con  $R = 22 \Omega$  y  $C = 10 \mu\text{f}$ . Si el interruptor  $S_1$  se cierra en  $t = 0$ , determine la expresión para el voltaje a través del capacitor y la energía perdida del circuito.



**Figura P2.3.3**

$$R = 22 \Omega, C = 10 \mu\text{F}, V_0 = 220\text{V}$$

$$0 = V_R + V_C = V_R + \frac{1}{C} \int i dt + V_C(t=0)$$

Con la condición inicial :  $v_C(t=0) = -V_0$ , la corriente es

$$i(t) = \frac{V_0}{R} e^{-t/RC}$$

El voltaje del capacitor es

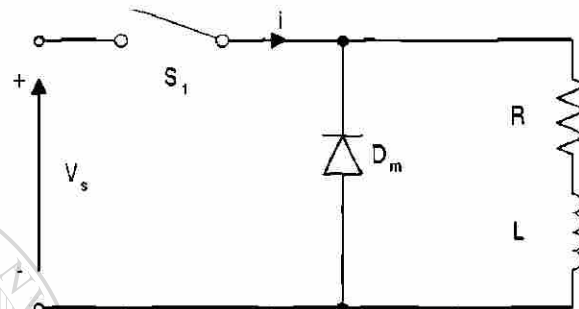
$$V_C(t) = -Ri = -V_0 e^{-t/RC} = 220 e^{-10^{-6}t/22}$$

b) La energía disipada es

$$W = 0.5 C V_0^2 = 0.5 \times 10 \times 10^{-6} \times 220 \times 220 = 0.242 \text{ J.}$$

**Problema 2.3.4**

Un circuito de diodo aparece en la figura P2.3.4 con  $R = 10\Omega$ ,  $L = 5\text{mH}$  y  $V_s = 220\text{V}$ . Si fluye una corriente de carga de  $10\text{ A}$  a través del diodo de marcha libre  $D_m$  y el interruptor  $S_1$  se cierra en  $t = 0$ , determine la expresión de la corriente  $i$  a través del interruptor.



**Figura P2.3.4**

$$R = 10\Omega, L = 5\text{mH}, V_s = 220\text{v}, I_1 = 10\text{A}$$

El interruptor de corriente se describe con

$$V_s = L \frac{di}{dt} + R i$$

Con la condición inicial:  $i(t = 0) = I_1$ ,

$$i(t) = \frac{V_s}{R} (1 - e^{-tR/L}) + I_1 e^{-tR/L} = 22 - 12 e^{-2000t} \text{ A}$$

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**Problema 2.3.5**

Si el inductor del circuito de la figura 2.3.7 tiene una corriente inicial de  $I_0$ , determine la expresión para el voltaje a través del capacitor.

$$V_s = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + v_c(t=0)$$

Con la condición inicial:  $i(t=0) = I_0$  y  $V_c(t=0) = 0$ , hacemos

$$i(t) = I_m \cos(\omega t) + V_s \sqrt{C/L} \operatorname{sen}(\omega t)$$

El voltaje del capacitor es

$$V_c(t) = \frac{1}{C} \int i dt = I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} \operatorname{sen}(\omega t) - V_s \cos(\omega t) + V_s$$

$$\text{Donde } \omega = 1/\sqrt{CL}$$

**Problema 2.3.6**

Si el interruptor S1 de la figura P2.3.6 se cierra en  $t = 0$ , determine la expresión para

- la corriente que fluye a través del interruptor  $i(t)$
- la velocidad de elevación de la corriente  $di/dt$ .
- Dibuje esbozos de  $i(t)$  y de  $di/dt$ .
- ¿Cuál es el valor de  $di/dt$  inicial? Para la figura P2.3.6 encuentre solo  $di/dt$  inicial.

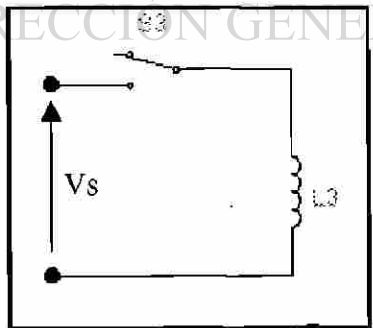


Figura P2.3.6a



- (a)  $L \frac{di}{dt} = V_s$  o  $i(t) = V_s t / L$   
 (b)  $di / dt = V_s / L$ ;  
 (c)  $di / dt$  (en  $t=0$ ) =  $V_s / L$ .

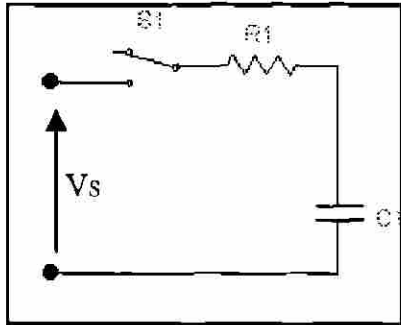


Figura P2.3.6b

- (a)  $\frac{1}{C} \int i dt + Ri = V_s - V_o$  o  $i(t) = \frac{V_s - V_o}{R} e^{-t/RC}$   
 (b)  $\frac{di}{dt} = -\frac{V_s - V_o}{R^2 C} e^{-t/RC}$   
 (c) En  $t=0$ ,  $di / dt = (V_s - V_o) / (R^2 C)$

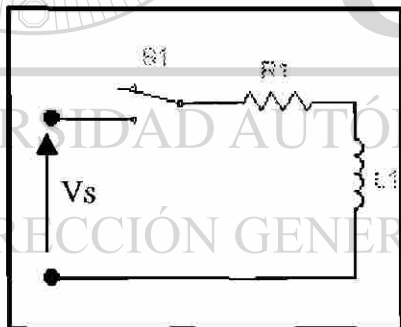


Figura P2.3.6c

- (a)  $L \frac{di}{dt} + Ri = v_s$  o  $i(t) = \frac{v_s}{R} e^{-tR/L}$   
 (b)  $\frac{di}{dt} = -\frac{v_s}{L} e^{-tR/L}$   
 (c) En  $t=0$ ,  $di / dt = v_s / L$

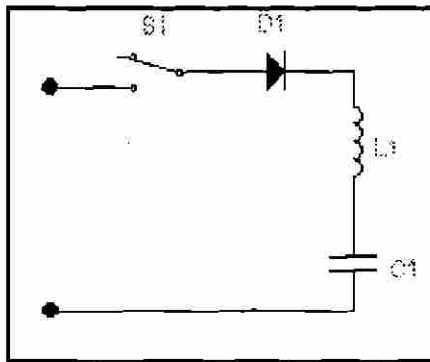


Figura P2.3.6d

$$(a) \quad V_s = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + V_c(t=0)$$

con la condición inicial :  $i(t=0) = 0$  y  $V_c(t=0) = V_o$ .

$$i(t) = (V_s - V_o) \sqrt{\frac{C}{L}} \operatorname{sen} \omega t = I_p \operatorname{sen} \omega t$$

$$\text{Donde } \omega = 1 / \sqrt{LC}$$

$$(b) \quad \frac{di}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \cos \omega t$$

$$(c) \quad \text{En } t=0, \quad di/dt = (V_s - V_o) / L$$

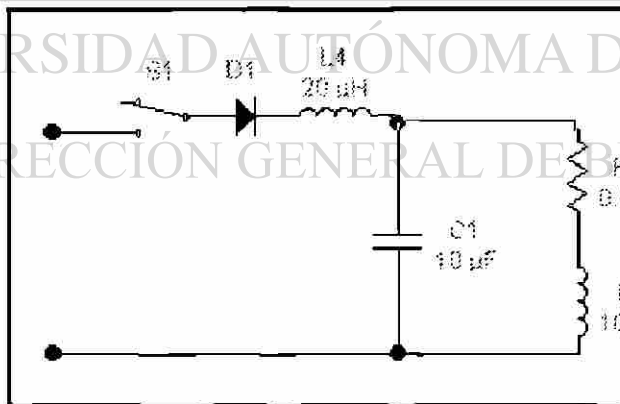


Figura P2.3.6e

En  $t = 0$ , la inductancia se comporta como un circuito abierto y en el capacitor hay un corto circuito. La  $di/dt$  inicial es limitada solo por la inductancia  $L_1$ . Así la  $di/dt$  inicial es:

$$di/dt = V_s / L_1 = V_s / 20 \mu H = V_s / 20 - A / \mu s$$

**Problema 2.3.7**

El circuito de segundo orden de la figura 2.3.9 tiene un voltaje de fuente  $V_s = 220\text{V}$ , una inductancia  $L = 5\text{ mH}$ , una capacitancia  $C = 10\mu\text{F}$  y una resistencia  $R = 22\Omega$ . El voltaje inicial del capacitor es  $V_0 = 50\text{V}$ . Si el interruptor se cierra en  $t = 0$ , determine

- una expresión para el valor de la corriente y
- el tiempo de conducción del diodo.
- dibuje un esbozo de  $i(t)$

$$V_s = 220\text{ v}, L = 5\text{ mH}, C = 10\mu\text{F}, R = 22\Omega \text{ y } V_0 = 50\text{ V}$$

$$(a) \text{ De la ecuación } \alpha = \frac{R}{2L}, \alpha = 22 \times 10^3 / (2 \times 5) = 2200$$

$$\text{De la ecuación, } \omega_0 = 1/\sqrt{LC} = 4472 \text{ rad/s}$$

$$\omega_r = 4472^2 - 2200^2 = 3893 \text{ rad/s}$$

Dado que  $\alpha < \omega_0$ , se trata de un caso subamortiguado, y la solución es de la forma

$$i(t) = e^{-\alpha t} (A_1 \cos \omega_r t + A_2 \sin \omega_r t)$$

En  $t = 0$ ,  $i(t = 0) = 0$  y esto da  $A_1 = 0$

$$i(t) = e^{-\alpha t} A_2 \sin \omega_r t$$

$$\frac{di}{dt} = \omega_r \cos \omega_r t A_2 e^{-\alpha t} - \alpha \sin \omega_r t A_2 e^{-\alpha t}$$

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} = \omega_r A_2 = \frac{V_s}{L}$$

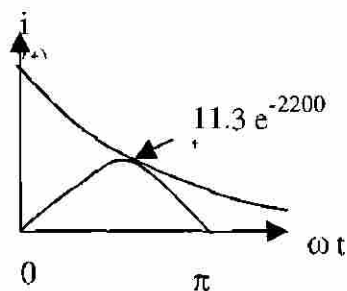
$$\text{o } A_2 = V_s / (\omega_r L) = 220 \times 1000 / (3893 \times 5) = 11.3$$

La expresión final para la corriente  $i(t)$  es

$$i(t) = 11.3 \sin(3893t) e^{-2200t} \text{ A}$$

(b) El tiempo de conducción es  $\omega_r t_1 = \pi$  o  $t_1 = \pi / 3893 = 807 \mu\text{s}$

(c) El trazo para la corriente aparece en la figura



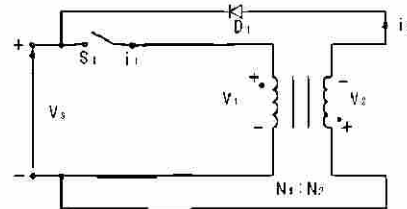
**Figura P2.3.7**

**Problema 2.3.8**

Para el circuito de recuperación de energía de la figura P2.3.8, la inductancia magnetizante del transformador es  $L_m = 150 \mu\text{H}$ ,  $N_1 = 10$  y  $N_2 = 200$ . Las inductancias de fuga y las resistencias del transformador son despreciables. El voltaje de fuente es  $V_s = 200 \text{ V}$  y en el circuito no existe corriente inicial. Si durante un tiempo  $t_1 = 100 \text{ ms}$  se cierra el interruptor  $S_1$  y a continuación se abre,

- (a) determine el voltaje del diodo  $D_1$ ,  
 (b) calcule la corriente pico del primario,  
 (c) calcule la corriente pico del secundario,  
 (d) determine el tiempo durante el cual el diodo  $D_1$  conduce

(e) determine la energía porporcionada por la fuente.



**Figura P2.3.8**

$$V_s = 220\text{V}, \quad L_m = 150\mu\text{H}, \quad N_1 = 10, \quad N_2 = 200 \quad \text{y} \quad t_1 = 100\mu\text{s}$$

La relación de vueltas es  $a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{200}{10} = 20$

(a) De la ecuación  $v_D = V_s(1 + a)$

el voltaje inverso del diodo es  $V_D = 200 \times (1 + 20) = 4620 \text{ v}$

(b) De la ecuación  $I_0 = \frac{V_s}{L_m} t_1$

el valor pico de la corriente primario es,  $I_0 = 220 \times 100 / 150 = 146.7 \text{ A}$

(c) El valor pico de la corriente secundario  $I_0' = I_0 / a = 146.7 / 20 = 7.3 \text{ A}$

(d) De la ecuación  $I_0 = \frac{V_s}{L_m} t_1$

el tiempo de conducción del diodo es,  $t_2 = 20 \times 100 = 2000 \mu\text{s}$ .

(e) La energía de la fuente

$$W = \int_0^{t_1} V i dt = \int_0^{t_1} \frac{V_s}{L_m} t dt = \frac{1}{2} \frac{V_s^2}{L_m} t_1^2$$

De la ecuación,  $I_0 = \frac{V_s}{L_m} t_1$

$$W = 0.5 L_m I_0^2 = 0.5 \times 150 \times 10^{-6} \times 146.7^2 = 1.614 \text{ J}$$

**Problema 2.3.9**

Un puente rectificador monofásico tiene una carga permanente resistiva  $R = 10 \Omega$ , el voltaje pico de alimentación  $V_m = 170 \text{ V}$  y la frecuencia de alimentación  $f = 60 \text{ Hz}$ . Determine el voltaje promedio de salida del rectificador, si la inductancia de la fuente es despreciable.

$$V_m = 170 \text{ V}, \quad R = 10 \Omega, \quad f = 60 \text{ Hz}$$

$$\text{De la ecuación, } V_{cd} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t dt = \frac{2V_m}{\pi} = 0.6366V_m$$

$$V_m = 0.6366 \times 170 = 113.32 \text{ V}$$

**Problema 2.3.10**

Repita el problema anterior si la inductancia de la fuente por fase (incluyendo la inductancia de fuga del transformador) es  $L_c = 0.5 \text{ mH}$ .

$$V_m = 170 \text{ V}, \quad R = 10 \Omega, \quad f = 60 \text{ Hz}$$

$$\text{De la ecuación, } V_{cd} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t dt = \frac{2V_m}{\pi} = 0.6366 V_m$$

$$V_m = 0.6366 \times 170 = 113.32 \text{ V}$$

$$I_{cd} = V_{cd} / R = 113.32 / 10 = 11.332 \text{ A}$$

$$\text{De la ecuación } V_x = 6fL_c I_{cd}$$

encontramos la reducción del voltaje de salida debido a la

$$\text{conmutación } V_x = 2 \times 60 \times 0.5 \times 10^{-3} \times 11.332 = 0.676 \text{ v}$$

y el voltaje de salida efectivo es

$$(113.32 - 0.676) = 112.64 \text{ V}$$

**Problema 2.3.11**

Un rectificador de seis fases en estrella tiene una carga puramente resistiva  $R = 10 \Omega$ , un voltaje pico de alimentación  $V_m = 170 \text{ V}$  y la frecuencia de alimentación  $f = 60 \text{ Hz}$ . Determine el voltaje promedio de salida del rectificador, si la inductancia de fuente es despreciable.

$$R = 10 \Omega, V_m = 170 \text{ V}, f = 60 \text{ Hz}$$

Para un rectificador de seis fases en estrella

$$q = 6 \text{ en la ecuación}$$

$$\text{y de esta ecuación } V_{cd} = \frac{2}{2\pi/q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} \text{sen} \frac{\pi}{q}$$

$$V_{cd} = 170 (6/\pi) \text{sen}(\pi/6) = 162.34 \text{ V}$$

**Problema 2.3.12**

Repita el problema anterior si la inductancia de fuente por fase (incluyendo la inductancia de fuga del transformador) es  $L_c = 0.5 \text{ mH}$ .

$$R = 10 \Omega, V_m = 170 \text{ V}, f = 60 \text{ Hz}, L_c = 0.5 \text{ mH}$$

Para un rectificador de seis fases en estrella  $q = 6$  en la ecuación y

$$V_{cd} = \frac{2}{2\pi/q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} \text{sen} \frac{\pi}{q}$$

$$V_{cd} = 170(6/\pi) \text{sen} = 162.34, I_{cd} = 162.34/10 = 16.234 \text{ A}$$

$$\text{De la ec. } V_{cd} = \frac{2}{2\pi/q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} \text{sen} \frac{\pi}{q}$$

encontramos la reducción de voltaje de salida debido a la conmutación

$$V_x = 6 \times 60 \times 0.5 \times 10^{-3} \times 16.234 = 2.92 \text{ V} \text{ y el voltaje de salida efectivo es}$$

$$(162.34 - 2.92) = 159.42 \text{ V}$$

**Problema 2.3.13**

Un puente rectificador trifásico tiene una carga puramente resistiva  $R = 100 \Omega$  y está alimentado a partir de una fuente de 280 V, 60 Hz. El primario y el secundario del transformador de entrada están conectados en estrella. Determine el voltaje promedio de salida del rectificador si las inductancias de fuente son despreciables.

$$R = 100 \Omega, V_s = 280 \text{ v}, f = 60 \text{ Hz}$$

$$V_m = 280 \times \sqrt{2} / \sqrt{3} = 228.6 \text{ V}$$

$$\text{De la ecuación, } V_{cd} = \frac{2}{2\pi / 6} \int_0^{\pi/6} \sqrt{3} V_m \cos \omega t d(\omega t)$$

$$V_{cd} = 1.6542 \times 228.6 = 378.15 \text{ V}$$

**Problema 2.3.14**

Repita el problema anterior si la inductancia de fase por fase (incluyendo la inductancia de fuga del transformador) es  $L_c = 0.5 \text{ mH}$ .

$$V_x = 6 \times 60 \times 0.5 \times 10^{-3} \times 37.815 = 6.81 \text{ V y el voltaje de salida efectivo es}$$

$$(378.15 - 6.81) = 371.34 \text{ V}$$

$$I_{cd} = V_{cd} / R \quad I_{cd} = 378.15 / 100 = 3.7815 \text{ A}$$

$$\text{De la ecuación } V_{cd} = \frac{2}{2\pi / q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} \text{sen } \frac{\pi}{q}$$

encontramos la reducción de voltaje de salida debido a la conmutación

$$R = 100 \Omega, V_s = 280 \text{ v}, f = 60 \text{ Hz} \quad \text{y} \quad L_c = 0.5 \text{ mH}$$

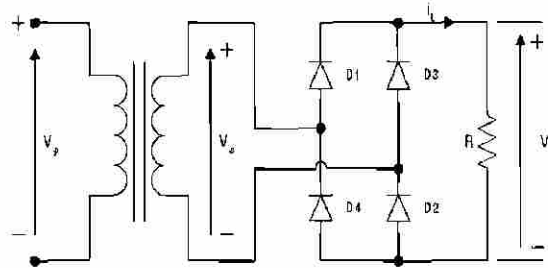
$$V_m = 280 \times \sqrt{2} / \sqrt{3} = 228.6 \text{ V}$$

$$\text{De la ecuación } V_{cd} = \frac{2}{2\pi / 6} \int_0^{\pi/6} \sqrt{3} V_m \cos \omega t d(\omega t)$$

$$V_{cd} = 1.6542 \times 228.6 = 378.15 \text{ V}$$

**Problema 2.3.15**

El puente rectificador monofásico de la figura P2.3.15 se necesita para alimentar un voltaje promedio de  $V_{cd} = 400 \text{ V}$  a una carga resistiva  $R = 10 \Omega$ . Determine las especificaciones del voltaje y la corriente de los diodos y del transformador.

**Figura P2.3.15**

$$V_{cd} = 400\text{V}, R = 10\Omega$$

De la ecuación 
$$V_{cd} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} V_m \sin \omega t dt = \frac{2V_m}{\pi} = 0.6366 V_m$$

$$V_{dc} = 400 = 0.6366 V_m \quad \text{o} \quad V_m = 628.34\text{V}$$

El voltaje de fase rms es 
$$V_s = V_m / \sqrt{2} = 628.34 / \sqrt{2} = 444.3 \text{ V}$$

$$I_{dc} = V_{cd} / R = 400 / 10 = 40 \text{ A}$$

Diodos:

Corriente pico,  $I_p = 628.34 / 10 = 62.834 \text{ A}$

Corriente promedio,  $I_d = I_{cd} / 2 = 40 / 2 = 20 \text{ A}$

Corriente rms,  $I_R = 62.834 / 2 = 31.417 \text{ A}$

Transformar:

Voltaje rms,  $V_s = V_m / \sqrt{2} = 444.3 \text{ V}$

Corriente rms,  $I_s = I_m / \sqrt{2} = 44.43 \text{ A}$

Volt - Amp,  $VI = 444.3 * 44.43 = 19.74 \text{ KVA}$

$$P_{cd} = (0.6366 V_m)^2 / R \quad \text{y} \quad P_{ca} = V_s I_s = V_m^2 / 2R$$

$$TUF = P_{cd} / P_{ca} = 0.6366^2 \times 2 = 0.8105$$

y la especificación del factor del transformador es

$$1/TUF = 1.2338.$$



**Problema 2.3.16**

Se requiere de un puente rectificador trifásico para alimentar un voltaje promedio de  $V_{cd} = 750 \text{ V}$  en una corriente libre de componente ondulatorio de  $I_{cd} = 9000 \text{ A}$ . El primario y el secundario del transformador están conectados en estrella. Determine las especificaciones de voltaje y de corriente para los diodos y el transformador.

$$V_{cd} = 750 \text{ V}, \quad I_{cd} = 9000 \text{ A}.$$

De la ecuación.  $V_{cd} = \frac{2}{2\pi/q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} \text{sen} \frac{\pi}{q}$

$$V_{cd} = 750 = 1.6542 V_m \quad \text{o} \quad V_m = 453.39 \text{ V}$$

El voltaje de fase es  $V_s = V_m / \sqrt{2} = 453.39 / \sqrt{2} = 320.59 \text{ V}$

Diodos:

Corriente pico,  $I_p = 9000 \text{ A}$

Corriente promedio,  $I_d = I_{cd} / 2 = 9000 / 2 = 4500 \text{ A}$

Corriente rms,  $I_R = 9000 / \sqrt{2} = 6363.96 \text{ A}$

Transformar:

Voltaje rms,  $V_s = 320.59 \text{ V}$

Corriente rms,  $I_s = I_p = 9000 \text{ A}$

Volt- Amp por fase,  $VI = 320.59 * 9000 = 2885.32 \text{ kVA}$

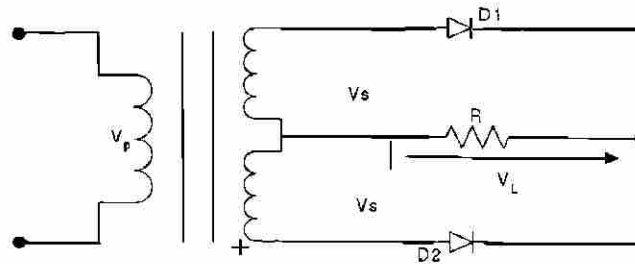
$$TUF = P_{cd} / P_{ca} = 750 * 900 / (3 * 2885.31) = 0.7798$$

y la especificación del factor del transformador es.

$$1/TUF = 1.2824.$$

**Problema 2.3.17**

El rectificador monofásico de la figura P2.3.17 tiene una carga RL. Si el voltaje pico de entrada es  $V_m = 170$  V, la frecuencia de entrada es  $f = 60$  Hz, y la resistencia de carga  $R = 15 \Omega$ . Determine la inductancia de carga  $L$  para limitar la armónica de corriente de carga a un 4% del valor promedio  $I_{cd}$ .

**Figura P2.3.17**

$$V_m = 170V, f = 60Hz, R = 15\Omega \text{ y } \omega = 2\pi f = 377 \text{ rad/s}$$

De la ecuación

$$V_L(t) = \frac{2V_m}{\pi} - \frac{4V_m}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{4V_m}{15\pi} \cos 4\omega t - \frac{4V_m}{35\pi} \cos 6\omega t - \dots$$

el voltaje de salida es

$$V_L(t) = \frac{2V_m}{\pi} - \frac{4V_m}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{4V_m}{15\pi} \cos 4\omega t - \frac{4V_m}{35\pi} \cos 6\omega t \dots$$

La carga de la impedancia  $z = R + j(n\omega L) = \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2} / \theta_n$   
y  $\theta_n = \tan^{-1}(n\omega L/R)$  y la corriente de carga es

$$i_L(t) = I_{cd} \frac{4V_m}{\pi \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \left[ \frac{1}{3} \cos(2\omega t - \theta_2) - \frac{1}{15} \cos(4\omega t - \theta_4) \dots \right]$$

$$\text{Donde } I_{cd} = \frac{V_{cd}}{R} = \frac{2V_m}{\pi R}$$

El valor de la corriente rms es

$$I_{ca}^2 = \frac{(4V_m)^2}{2\pi^2 [R^2 + (2\omega L)^2]} (1/3)^2 + \frac{(4V_m)^2}{2\pi^2 [R^2 + (4\omega L)^2]} (1/15)^2 + \dots$$

Considerando solo la armónica de orden  $(n = 2)$ ,

$$I_{ca} = \frac{4V_m * (1/3)}{\sqrt{2\pi} \sqrt{[R^2 + (2\omega L)^2]}}$$

Usando el valor de  $I_{cd}$  y después de la simplificación el factor es

$$RF = \frac{I_{ca}}{I_{cd}} = \frac{0.481}{\sqrt{1 + (2\omega L/R)^2}} = 0.04$$

$$0.481^2 = 0.04^2 [1 + (2 * 377 L/15)^2] \text{ o } L = 238.7 \text{ mH}$$

**Problema 2.3.18**

El rectificador trifásico estrella de la figura 2.3.25 tiene una carga RL. Si el voltaje pico es el secundario por fase es  $V_m = 170$  V, a 60 Hz y la resistencia de carga es  $R = 15 \Omega$ , Determine la inductancia de carga L para limitar las armónicas de corriente de la carga a 2% del valor promedio  $I_{cd}$ .

$$V_m = 170 \text{ V}, F = 60 \text{ Hz}, R = 15 \Omega \text{ y } \omega = 2\pi f \text{ o } 377 \text{ rad/s}$$

De la siguiente ecuación nos da el voltaje de salida para  $q = 6$

$$V_L = (t) = 0.9549 V_m \left[ 1 + \frac{2}{35} \cos 6 \omega t - \frac{2}{143} \cos \omega t + \dots \right]$$

$$\text{La carga de la impedancia } z = R + j(n\omega L) = \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2} \angle \theta_n$$

$$\text{y } \theta_n = \tan^{-1}(n\omega L / R)$$

Y la corriente de carga es

$$i_L(t) = I_{cd} \left[ \frac{0.9549 V_m}{\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \left[ \frac{2}{35} \cos(6\omega t - \theta_6) - \frac{2}{143} \cos(12\omega t - \theta_{12}) \right] \right]$$

$$\text{Donde } I_{cd} = \frac{V_{cd}}{R} = \frac{0.9549 V_m}{R}$$

El valor de la corriente rms es

$$I_{ca}^2 = \frac{(0.9549 V_m)^2}{2[R^2 + (6\omega L)^2]} (2/35)^2 + \frac{(0.9549 V_m)^2}{2[R^2 + (6\omega L)^2]} (2/143)^2 + \dots$$

Consideran do solo la armónica de orden ( $n = 6$ ),

$$I_{ca} = \frac{0.95492 V_m (2/35)}{\sqrt{2} \sqrt{[R^2 + (6\omega L)^2]}}$$

Usando el valor de  $I_{cd}$  y despues de la simplificación, el factor es

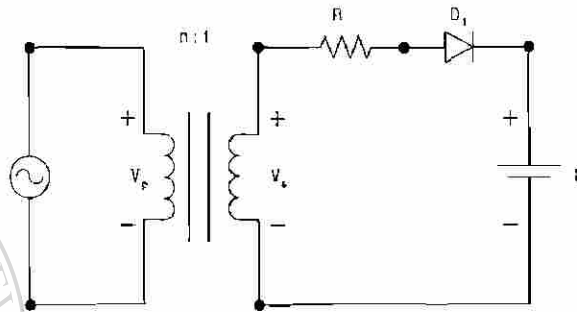
$$RF = \frac{I_{ca}}{I_{cd}} = \frac{2 / (\sqrt{2} \times 35)}{\sqrt{1 + (6\omega L / R)^2}} = 0.02$$

$$0.0404^2 = 0.02^2 [1 + (6 * 377 L/15)^2] \text{ o } L = 11.64 \text{ mH}$$

**Problema 2.3.19**

El voltaje de batería de la figura P2.3.19 es  $E = 20 \text{ V}$  y su capacidad es de  $200 \text{ W-h}$ . La corriente de carga promedio deberá ser  $I_{cd} = 10 \text{ A}$ . El voltaje de entrada primario es  $V_p = 120 \text{ V}$ ,  $60 \text{ Hz}$  teniendo el transformador una relación de vueltas  $n = 2:1$ .

- Calcule (a) el ángulo de conducción  $\delta$  del diodo,  
 (b) la resistencia limitadora de corriente  $R$ ,  
 (c) la especificación de potencia  $P_R$  de  $R$ ,  
 (d) el tiempo de carga  $h$  en horas,  
 (e) la especificación  $\eta$  de rectificador y  
 (f) el voltaje de pico inverso PIV del diodo.

**Figura P2.3.19**

$$E = 20 \text{ V}, I_{cd} = 10 \text{ A}, V_p = 120 \text{ V}, V_s = V_p/n = 120/2 = 60 \text{ V}$$

$$V_m = \sqrt{2}V_s = \sqrt{2} * 60 = 84.85 \text{ V}$$

a) De la ecuación

$$\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{E}{V_m}$$

$$\alpha = \text{sen}^{-1} (20/84.85) = 15.15^\circ \text{ o } 0.264 \text{ rad}$$

$$\beta = 180 - 15.15 = 164.85^\circ$$

El ángulo de conducción es  $\delta = \beta - \alpha = 164.85 - 15.15 = 149.7^\circ$

b) La ecuación

$$I_{ac} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{V_m \text{sen} \omega t - E}{R} d(\omega t) = \frac{1}{2\pi R} (2V_m \cos \alpha + 2E\alpha - \pi E)$$

nos da la resistencia  $R$  como

$$R = \frac{1}{2\pi I_{cd}} (2V_m \cos \alpha + 2E\alpha - \pi E)$$

$$R = \frac{1}{2\pi \times 10} [2 * 84.85 * \cos 15.15^\circ + 2 * 20 * 0.264 - \pi * 20] = 1.793 \Omega$$

c) Las ecuaciones  $I_{rms}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{(V_m \sin \omega t - E)^2}{R^2} d(\omega t)$

nos da la corriente rms de la batería como

$$I_{rms}^2 = \frac{1}{2\pi R^2} \left[ \left( \frac{V_m^2}{2} + E^2 \right) (\pi - 2\alpha) + \frac{V_m^2}{2} \sin 2\alpha - 4 V_m E \cos \alpha \right] = 272.6$$

o  $I_{rms} = \sqrt{272.6} = 16.51 \text{ A}$ .

La especificación de potencia  $R$  es  $P_R = 16.51^2 * 1.793 = 488.8 \text{ W}$

d) La potencia entregada  $P_{cd}$  a la batería es

$$P_{cd} = E I_{cd} = 20 * 10 = 200 \text{ W}$$

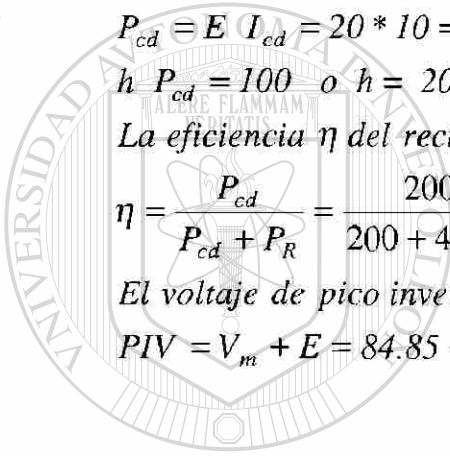
h  $P_{cd} = 100$  o  $h = 200/P_{cd} = 200/200 = 1 \text{ hr}$

La eficiencia  $\eta$  del rectificad or es

$$\eta = \frac{P_{cd}}{P_{cd} + P_R} = \frac{200}{200 + 488.8} = 29\%$$

El voltaje de pico inverso  $PIV$  del diodo es

$$PIV = V_m + E = 84.85 + 20 = 104.85 \text{ V}$$



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**Problema 2.3.20**

El rectificador monofásico de onda completa de la figura P2.3.20 tiene una  $L = 4.5$  mH,

$R = 5 \Omega$  y  $E = 20$  V. El voltaje de entrada es  $V_s = 120$  V a 60 Hz

A) Determine:

- la corriente de carga en régimen permanente  $I_L$  a  $\omega t = 0$ ,
- la corriente promedio del diodo  $I_d$ ,
- la corriente rms del diodo  $I_r$ , y
- la corriente de salida rms  $I_{rms}$ .

B) Utilice PSpice para graficar la corriente instantánea de salida  $i_L$ . Suponga los parámetros del diodo  $I_S = 2.22e-15$ ,  $BV = 1800$  V.

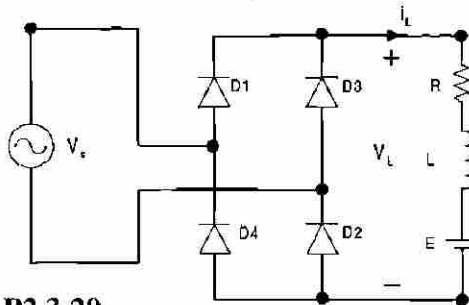


Figura P2.3.20

Si se conoce que la corriente de carga es continua o discontinua. Suponiendo que la corriente de carga es continua procede con la solución. Si la suposición no es correcta la corriente de carga pasa por cero y la corriente pasa al caso para una corriente discontinua.

A)  $R = 5\Omega$ ,  $L = 4.5\text{mH}$ ,  $f = 60\text{Hz}$ ,  $\omega = 2\pi \times 60 = 377 \text{ rad/s}$ ,

$V_s = 120\text{V}$ ,

$Z = [R^2 + (\omega L)^2]^{1/2} = 5.28\Omega$ , y  $\theta = \tan^{-1}(\omega L / R) = 18.74^\circ$

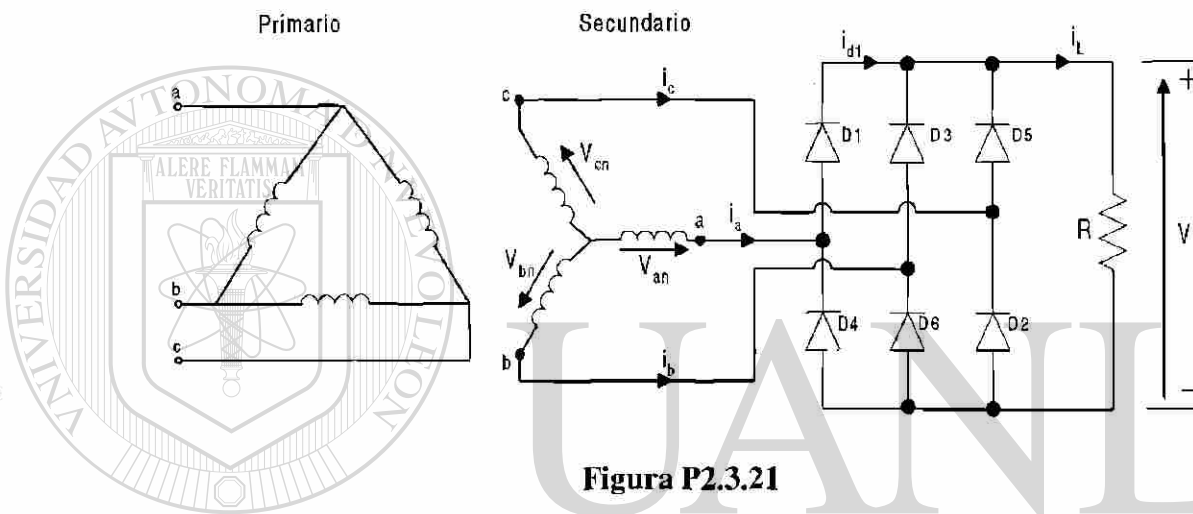
- La corriente de carga en estado inicial de  $t = 0$ ,  $I_L = 6.33\text{A}$ . Desde  $I_L > 0$ , la corriente de carga es continua y la suposición es correcta.
- La integración numérica de  $i_L$  dentro de la ec. cambia la corriente del diodo como  $I_d = 8.8\text{A}$ .
- Con la integración numérica de  $i_L$  entre los límites  $t = 0$  a  $\pi$ , obtenemos la corriente rms del diodo como  $I_r = 13.83\text{A}$ .
- La corriente de salida rms  $I_{rms} = \sqrt{2}I_r = \sqrt{2} * 13.83 = 19.56\text{A}$ .

**Problema 2.3.21**

El rectificador trifásico de onda completa de la figura P2.3.21 tiene una carga  $L = 2.5 \text{ mH}$ ,  $R = 5 \Omega$  y  $E = 20 \text{ V}$ . El voltaje de entrada, línea a línea es  $V_{ab} = 208 \text{ V}$ ,  $60 \text{ Hz}$ .

Determine:

- la corriente de carga en régimen permanente  $I_1$  a  $\omega t = \pi/3$ ,
- la corriente promedio de diodo  $I_d$ ,
- la corriente rms de diodo  $I_r$  y
- la corriente rms de salida  $I_{rms}$ .



**Figura P2.3.21**

$$R = 5 \Omega, L = 2.5 \text{ mH}, f = 60 \text{ Hz}, \omega = 2\pi * 60 = 377 \text{ rad/s}$$

$$V_{ab} = 208 \text{ V}, z = [R^2 + (\omega L)^2]^{1/2} = 5.09 \Omega, \text{ y } \theta = \tan^{-1}(\omega L/R) = 10.67^\circ$$

(a) El estado inicial de la corriente de carga es  $t = \pi/3$ ,  $I_f = 50.6 \text{ A}$ .

(b) La integración numérica de  $i_L$  en la ecuación

$$i_L = \frac{\sqrt{2}V_{ab}}{Z} \left[ \sin(\omega t - \theta) + \frac{\sin(2\pi/3 - \theta) - \sin(\pi/3 - \theta)}{1 - e^{-(R/L)(\pi/\omega)}} e^{-(R/L)t} \right] - \frac{E}{R}$$

para  $\pi/3 \leq \omega t \leq 2\pi/3$  e  $i_L \geq 0$

cambia la corriente promedio del diodo como  $I_d = 17.46 \text{ A}$ .

Desde  $I_f > 0$ , la corriente de carga es continua.

(c) Con la integración numérica de  $i_L^2$  entre los límites  $\omega t = \pi/3$  to  $2\pi/3$ , encontramos la corriente del diodo como  $I_r = 30.2 \text{ A}$ .

(d) La corriente de salida rms  $I_{rms} = \sqrt{3} I_r = \sqrt{3} \times 30.2 = 52.31 \text{ A}$ .

**Problema 2.3.22**

Un puente rectificador monofásico está alimentado desde una fuente de 120 V, 60 Hz. La resistencia de carga es  $R = 200 \Omega$ .

- (a) Diseñe un filtro C, de tal forma que el factor de componente ondulatoria del voltaje de salida sea menor de 5%.
- (b) con el valor del capacitor C de la parte (a), calcule el voltaje promedio de la carga  $V_{cd}$ .

$$RF = 5\%, R = 200\Omega, \text{ y } f = 60\text{Hz}$$

$$(a) \text{ Resolviendo } C \text{ con la ecuación } V_{cd} = \frac{2}{2\pi / q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} \operatorname{sen} \frac{\pi}{q}$$

$$C = \frac{1}{4 \times 60 \times 200} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{2 \times 0.05}} \right) = 315.46 \mu\text{F}$$

$$(b) \text{ De de la ecuación } V_{cd} = \frac{2}{2\pi / q} \int_0^{\pi/q} V_m \cos \omega t d(\omega t) = V_m \frac{q}{\pi} \operatorname{sen} \frac{\pi}{q}$$

el voltaje promedio de carga  $V_{cd}$  es

$$V_{cd} = 169.7 - \frac{169.7}{4 \times 60 \times 200 \times 415.46 \times 10^{-6}} = 169.7 - 11.2 = 158.49$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**Problema 2.3.23**

El voltaje rms de entrada al circuito de figura P2.3.23 es 120 V, 60 Hz.

- (a) Si el voltaje de salida de corriente directa es  $V_{cd} = 48 \text{ V}$  a  $I_{cd} = 25 \text{ A}$ , determine los valores de la inductancia  $L_e$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $I_{rms}$ .
- (b) Si  $I_{cd} = 15 \text{ A}$  y  $L_e = 6.5$  Calcule los valores de  $V_{cd}$ ,  $\alpha$ , e  $I_{rms}$ .



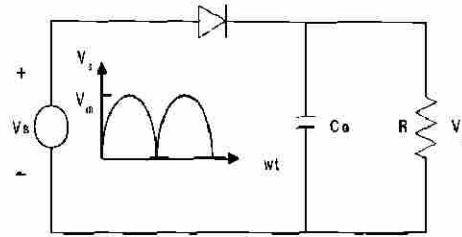


Figura P2.3.23

$$\omega = 2\pi \times 60 = 377 \text{ rad/s}, V_{cd} = 48 \text{ V}, V_s = 120 \text{ V}, V_m = \sqrt{2} \times 120 = 169.7 \text{ V}$$

(a) La relación de voltaje  $x = V_{cd}/V_m = 48/169.7 = 28.28\%$

$$\alpha = \text{sen}^{-1}(x) = 16.43^\circ$$

Resolviendo de la ecuación  $\cos \beta + x\beta = \cos \alpha + \alpha$  en función de  $\beta$

obtenemos el valor de  $\beta = 117.43^\circ$

$$\text{Ecuación } I_{cd}/I_{pk} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{\omega L_e}{V_m} i_L d(\omega t) \text{ obtenemos la relación de corriente } I_{cd}/I_{pk} = 13.425\%$$

$$\text{Así } I_{pk} = I_{cd}/0.13425 = 186.22 \text{ A}$$

El valor requerido de inductancia es

$$L_e = V_m/(\omega I_{pk}) = 169.7/(377 * 186.22) = 2.42 \text{ mH}$$

$$\text{Ecuación } \frac{I_{rms}}{I_{pk}} = \left[ \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \left( \frac{\omega L_e}{V_m} i_L \right)^2 d(\omega t) \right]^{1/2}$$

obtenemos la relación de corriente  $I_{rms}/I_{pk} = 22.59\%$

$$\text{Así } I_{rms} = 0.2259 * I_{pk} = 0.2259 * 186.22 = 42.07 \text{ A.}$$

$$(b) - I_{cd} = 15 \text{ A}, L_e = 6.5 \text{ mH}, I_{pk} = V_m/(\omega L_e) = 169.7/(377 * 6.5 \text{ mH}) = 69.25 \text{ A.}$$

$$y = I_{cd}/I_{pk} = 15/69.25 = 21.66\%$$

Utilizando la interpolación lineal, obtenemos

$$x = (x_n - x_{n+1})(y_n - y)/(y_{n+1} - y_n) \\ = 10 - (15 - 10)(25.5 - 21.66)/(21.5 - 25.5) = 14.8\%$$

$$V_{cd} = x V_m = 0.148 * 169.7 = 25.12 \text{ V.}$$

$$\alpha = \alpha_n - (\alpha_{n+1} - \alpha_n)(y_n - y)/(y_{n+1} - y_n) \\ = 5.75 - (8.63 - 5.74)(25.5 - 21.66)/(21.5 - 25.5) = 8.51^\circ$$

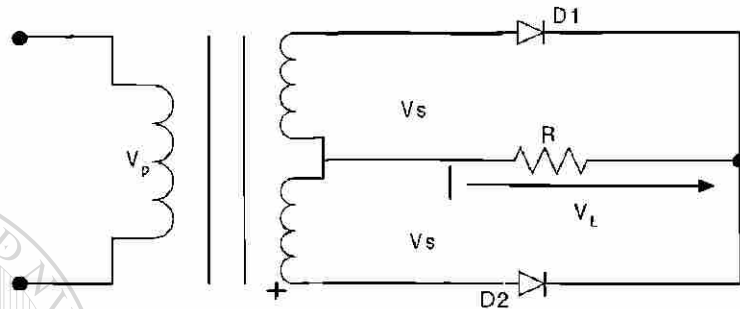
$$\beta = \beta_n - (\beta_{n+1} - \beta_n)(y_n - y)/(y_{n+1} - y_n) \\ = 139.74 - (131.88 - 139.74)(25.5 - 21.66)/(21.5 - 25.5) = 132.19^\circ$$

$$z = I_{rms}/I_{pk} = z_n - (z_{n+1} - z_n)(y_n - y)/(y_{n+1} - y_n) = \\ 37.06 - (32.58 - 37.06)(25.5 - 21.66)/(21.5 - 25.5) = 32.76\%$$

$$\text{Así } I_{rms} = 0.3276 * I_{pk} = 0.3276 * 69.25 = 22.69 \text{ A.}$$

**Problema 2.3.24**

El rectificador monofásico de la figura P2.3.24 tiene una carga resistiva  $R$ , y un capacitor  $C$  está conectado a través de la carga. La corriente promedio de carga es  $I_{cd}$ . Suponiendo que el tiempo de carga del capacitor es despreciable en comparación con el de descarga, determine las armónicas del voltaje rms de salida,  $V_{ca}$ .

**Figura P2.3.24**

Supongamos que  $t_1$  es el tiempo de carga y  $t_2$  es el tiempo de descarga del capacitor para un rectificador de onda completa, el voltaje de salida es  $T/2$ , donde  $T$  es periodo de la frecuencia  $f = 1/T$ .

$T_1 + T_2 = T/2$ . Si  $t_2 \gg t_1$  En el caso normal de,  $t_2 \approx T/2$ .

Durante el periodo de descarga del capacitor, el voltaje de salida del capacitor, el capacitor se descarga en forma exponencial a través de:

$$V_o(t) = V_m e^{-t/RC}$$

Donde  $V_m$  es el valor del voltaje de pico.

El voltaje de pico a pico se encuentra

$$V_r = V_o(t = t_1) - V_o(t = t_2) = V_m - e^{-t_2/RC} = V_m(1 - e^{-t_2/RC})$$

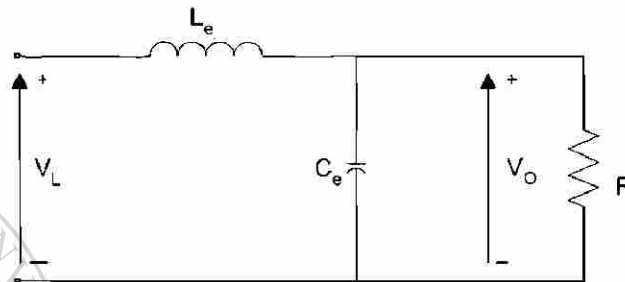
Por lo tanto si  $e^{-x} \approx -x$ ,  $v_r = V_m(1 - 1 + t_2/RC) = V_m t_2/RC = V_m/(2fRC)$

Así el valor del voltaje de salida rms de la armónica es

$$V_{ca} = \frac{V_r}{2\sqrt{2}} = \frac{V_m}{4\sqrt{2} f RC}$$

**Problema 2.3.25**

El filtro LC que se muestra en la figura P2.3.25 es utilizado para reducir el contenido de componente ondulatoria del voltaje de salida en un rectificador estrella de seis fases. La resistencia de carga es  $R = 20 \Omega$ , la inductancia  $L = 5 \text{ mH}$ , y la frecuencia de la fuente es  $60 \text{ Hz}$ . Determine los parámetros del filtro  $L_e$  y  $C_e$  de tal manera que el factor de componente ondulatoria del voltaje de salida sea  $5\%$

**Figura P2.3.25**

$$R = 20\Omega, L = 5\text{mH}, f = 60\text{Hz}, \omega = 2\pi f = 377 \text{ rad/s}$$

Tomando una relación de  $10 : 1$ , el valor del capacitor es mostrado por

$$\sqrt{[R^2 + (6\omega L)^2]} = 10 / (6\omega C_e) \text{ ó } C_e = \frac{10}{6 * 377 \sqrt{R^2 + (6 * 377 L)^2}} = 192.4 \mu\text{F}$$

$$\text{La ec. } i_L = \frac{\sqrt{2}V_s}{Z} \left[ \sin(\omega t - \theta) + \frac{2}{1 - e^{-(R/L)(\pi/\omega)}} \sin \theta e^{-(R/L)t} \right] - \frac{E}{R}$$

da el valor de rms para la sexta armónica como

$$V_6 = \frac{2}{32\sqrt{2}} 0.9549 V_m$$

$$\text{La ec. } V_{on} = \left| \frac{-1/(n\omega C_e)}{(n\omega L_e) - 1/(n\omega C_e)} \right| V_n = \left| \frac{-1}{(n\omega)^2 L_e C_e - 1} \right| V_n$$

da el valor del voltaje de entrada rms como

$$V_{ca} = \frac{V_6}{(n\omega)^2 L_e C_e - 1} = \frac{2}{35\sqrt{2}} \frac{0.9549 V_m}{(6\omega)^2 L_e C_e - 1}$$

$$V_{cd} = 0.9549 V_m$$

El factor de potencia de entrada es

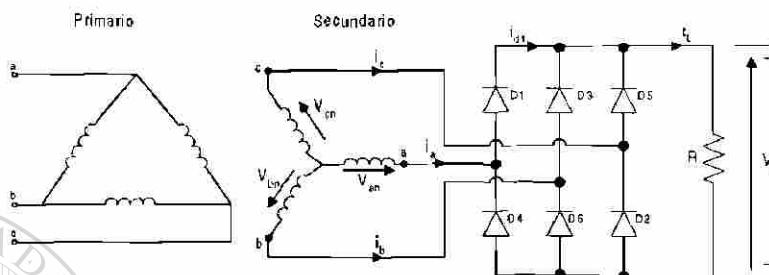
$$RF = \frac{V_{ca}}{V_{cd}} = \frac{\sqrt{2}}{35} \frac{1}{(6\omega)^2 L_e C_e - 1} = 0.05 \text{ ó } (6\omega)^2 L_e C_e - 1 = 0.808$$

$$\text{y } L_e = 1.837 \text{ mH}$$

**Problema 2.3.26**

El puente rectificador trifásico de la figura P2.3.26 tiene una  $R_L$  y es alimentado a partir de una fuente conectada en estrella.

- (a) Use el método de las series de Fourier para obtener expresiones para el voltaje de salida  $v_L(t)$  y de la corriente de carga  $i_L(t)$ .
- (b) Si el voltaje pico de fase es  $V_m = 170$  V a 60 Hz y la resistencia de carga  $L$  para limitar la corriente de componente ondulatoria a 2% del valor promedio  $I_{cd}$

**Figura P2.3.26**

(a) Con  $q = 6$ , De la ec.  $v_L(t) = 0.9549V_m \left(1 + \frac{2}{35} \cos 6\omega t - \frac{2}{143} \cos 12\omega t + \dots\right)$

obtenemos el voltaje de salida como

$$V_L(t) = 0.9549V_m \left[1 + \frac{2}{35} \cos 6\omega t - \frac{2}{143} \cos 12\omega t + \dots\right]$$

La impedancia de carga  $z = R + j(n\omega L) = \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2} \angle \theta_n$

y  $\theta_n = \tan^{-1}(n\omega L/R)$  y la corriente de carga es

$$i_L(t) = I_{cd} - \frac{0.9549V_m}{\sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \left[ \frac{2}{35} \cos(6\omega t - \theta_6) - \frac{2}{143} \cos(12\omega t - \theta_{12}) \dots \right]$$

Donde  $I_{cd} = \frac{V_{cd}}{R} = \frac{0.9549V_m}{R}$

(b)  $V_m = 170$  v,  $f = 60$  Hz,  $R = 200 \Omega$ ,  $\omega = 2\pi f = 377$  rad/s

El valor de corriente de entrada es

$$I_{ca}^2 = \frac{(0.9549V_m)^2}{2[R^2 + (6\omega L)^2]} \left(\frac{2}{35}\right)^2 + \frac{(0.9549V_m)^2}{2[R^2 + (6\omega L)^2]} \left(\frac{2}{143}\right)^2 + \dots$$

Considerando solo la armónica de mas bajo orden ( $n = 6$ )

$$I_{ca} = \frac{0.95492V_m(2/35)}{\sqrt{2}\sqrt{R^2 + (6\omega L)^2}}$$

Usando el valor de  $I_{ca}$  y después de simplificar el factor de potencia de entrada tenemos

$$RF = \frac{I_{ca}}{I_{cd}} = \frac{2 / (\sqrt{2} * 35)}{\sqrt{1 + (6\omega L / R)^2}} = 0.02$$

$$0.0404^2 = 0.02^2 [1 + (6 * 377 L / 200)^2] \text{ o } L = 11.64 \text{ mH}$$

### Problema 2.3.27

El rectificador monofásico de media onda de la figura P2.3.27 tiene un diodo de marcha libre y una corriente promedio de carga, libre de componente ondulatoria,  $I_a$ .

- Dibuje las formas de onda para las corrientes en  $D_1$ ,  $D_m$ , y el primario del transformador
- Expresa la corriente del primario en series de Fourier y
- determine el factor de potencia de entrada del rectificador. Suponga una relación de vueltas del transformador igual a la unidad.

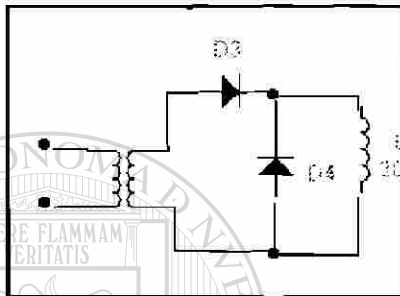


Figura P2.3.27

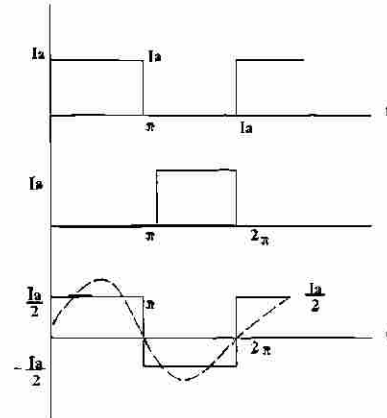


Figura P2.3.27a

(b) Para la corriente del primario en series de Fourier

$$a_0 = 0$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{I_a}{2} \cos n\theta \, d\theta = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{I_a}{2} \sin n\theta \, d\theta = \frac{2I_a}{n\pi}$$

$$\phi_n = \tan^{-1}(a_n/b_n) = 0$$

$$i_s(t) = \frac{2I_a}{\pi} \left( \frac{\sin t}{1} + \frac{\sin 3t}{3} + \frac{\sin 5t}{5} + \dots \right)$$

El valor fundamental  $I_1$  de la corriente rms es  $I_1 = 2I_a / (\pi \sqrt{2})$

La corriente rms es  $I_s = I_a / 2$ .

$$PF = I_1 / I_s = 2\sqrt{2} / \pi = 0.9 \text{ y } HF = \sqrt{(I_s / I_1)^2 - 1} = 0.4834$$

(c) Para la entrada del rectificad or en el secundari o

$$a_0 / 2 = I_a / 2$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_a \cos n\theta \, d\theta = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_a \sin n\theta \, d\theta = \frac{I_a}{n\pi} (1 - \cos n\theta)$$

$$\phi_n = \tan^{-1}(a_n/b_n) = 0$$

$$c_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} \text{ e } \Pi = C_1 / \sqrt{2} = \sqrt{2} I_a / \pi \text{ y } I_s = I_a / \sqrt{2}$$

$$PF = I_1 / I_s = 2 / \pi = 0.6366 \text{ y } HF = \sqrt{(I_s / I_1)^2 - 1} = 1.211$$

### Problema 2.3.28

Un rectificador monofásico de onda completa de la figura P2.3.28 tiene una corriente promedio de carga, libre de componente ondulatoria,  $I_a$ ,

- Dibuje las formas de onda de las corrientes en  $D_1$ ,  $D_2$  y el primario del transformador,
- Expresé la corriente del primario en series de Fourier y
- Determine el factor de potencia de entrada PF y el factor armónico HF de la corriente de entrada al rectificador. Suponga una relación de vueltas del transformador igual a la unidad.

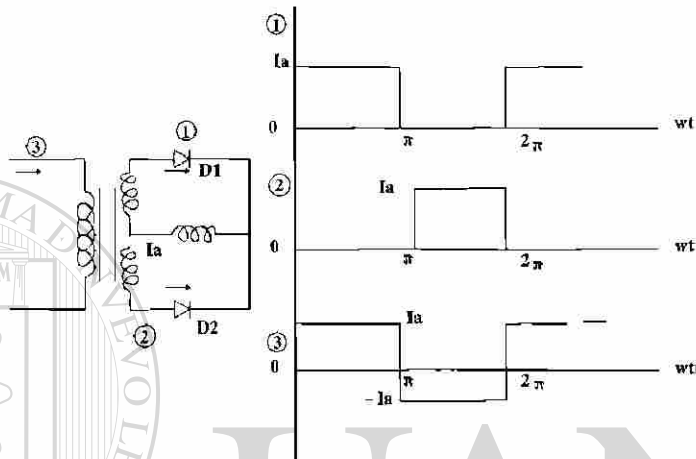


Figura P2.3.28

- Para la corriente del primario: De la siguiente ec. la corriente en el primario es.

$$i_s(t) = \frac{4I_a}{\pi} \left( \frac{\sin wt}{1} + \frac{\sin 3wt}{3} + \frac{\sin 5wt}{5} + \dots \right)$$

$$I_1 = 4I_a / (\pi \sqrt{2})$$

$$\text{La corriente rms es } I_s = I_a, \text{ PF} = I_1 / I_s = 2\sqrt{2} / \pi = 0.9$$

$$\text{y HF} = \sqrt{(I_s / I_1)^2 - 1} = 0.4834$$

La corriente de entrada del rectificad or en el secundari o

(c) Para la entrada del rectificad or en el secundari o

$$a_o / 2 = I_a / 2$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi I_a \cos n\theta d\theta = 0$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi I_a \sin n\theta d\theta = \frac{I_a}{n\pi} (1 - \cos n\theta)$$

$$\phi_n = \tan^{-1} ( a_n / b_n ) = 0$$

$$c_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} \text{ e } I_1 = C_1 / \sqrt{2} = \sqrt{2} I_a / \pi \text{ y } I_s = I_a / \sqrt{2}$$

$$\text{PF} = I_1 / I_s = 2 / \pi = 0.6366 \text{ y HF} = \sqrt{(I_s / I_1)^2 - 1} = 1.211$$

### Problema 2.3.29

El rectificador multifase en estrella de la figura P2.3.29 a tiene tres pulsos proporcionando una corriente promedio de carga, libre de componente ondulatoria,  $I_a$ . El primario y el secundario del transformador están conectados en estrella. Suponga una relación de vueltas del transformador igual a la unidad.

- Dibuje las formas de onda para las corrientes en  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  y en el primario del transformador,
- Expresé la corriente en el primario en series de Fourier y
- Determine el factor de potencia de entrada PF y el factor armónico HF de la corriente de entrada

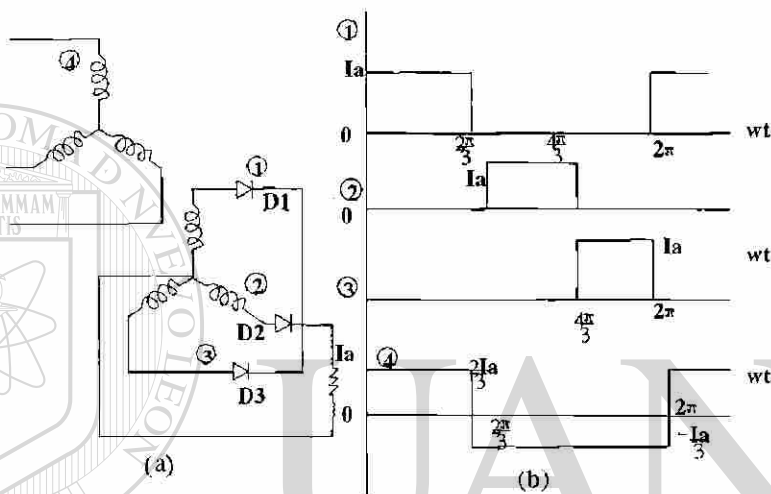


Figura P2.3.29

(b) Para la corriente de fase o de línea en el secundario

$$a_0 / 2 = 0$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} (2I_a/3) \cos n\theta \, d\theta - \frac{1}{\pi} \int_{5\pi/6}^{2\pi+\pi/6} (I_a/3) \cos n\theta \, d\theta$$

$$= \frac{2I_a}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{3} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3}$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} (2I_a/3) \operatorname{sen} n\theta \, d\theta - \frac{1}{\pi} \int_{5\pi/6}^{2\pi+\pi/6} (I_a/3) \operatorname{sen} n\theta \, d\theta$$

$$= \frac{2I_a}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{2} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3}$$

$$c_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} = \frac{2I_a}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3}$$

$$\phi_n = \tan^{-1} (a_n/b_n) = \tan^{-1} (\cot n\pi/2)$$

$$(c) I_1 = C_I / \sqrt{2} = \sqrt{3} I_a / (\pi \sqrt{2}), \quad \phi_1 = 0 \quad \text{y} \quad I_s = \sqrt{2} I_a / 3$$

$$PF = I_1 / I_s = 3\sqrt{3} / 2\pi = 0.827 \quad \text{y} \quad HF = \sqrt{(I_s / I_1)^2 - 1} = 0.68$$

### Problema 2.3.30

Repita el problema anterior si el primario del transformador está conectado en delta y el secundario en estrella.

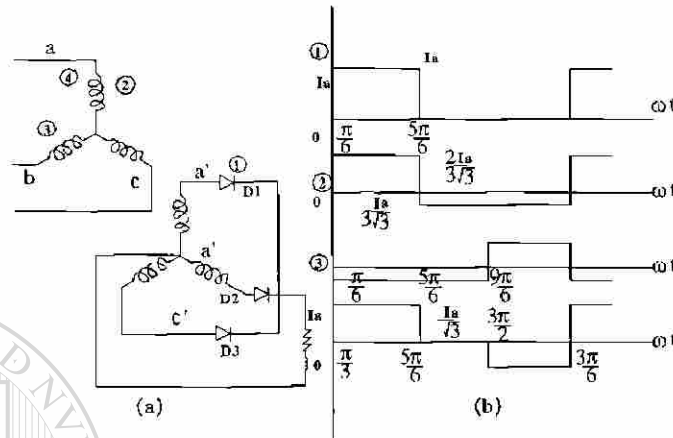


Figura P2.3.30

$$a_o/2 = 0$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} (I_a/3) \cos n\theta \, d\theta - \frac{1}{\pi} \int_{3\pi/2}^{2\pi+\pi/6} (I_a/3) \cos n\theta \, d\theta = \frac{2I_a}{\sqrt{3}n\pi} \sin \frac{n\pi}{6} (1 - \cos \frac{2n\pi}{3})$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} (I_a/3) \sin n\theta \, d\theta - \frac{1}{\pi} \int_{3\pi/2}^{2\pi+\pi/6} (I_a/\sqrt{3}) \sin n\theta \, d\theta = \frac{2I_a}{\sqrt{3}n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} (1 - \cos \frac{2n\pi}{3})$$

$$c_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} = \frac{2I_a}{\sqrt{3}n\pi} (1 - \cos \frac{2n\pi}{3})$$

$$\phi_n = \tan^{-1} (a_n/b_n) = \tan^{-1} (-\tan n\pi/6) = -n\pi/6$$

$$I_1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{3}I_a/(\pi\sqrt{2}), \quad \phi_1 = -\pi/6 \text{ y } I_s = \sqrt{2}I_a/3$$

(c) Para la corriente de fase en el secundario o en el primario

$$a_o/2 = 0$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} (2I_a/3\sqrt{3}) \cos n\theta \, d\theta - \frac{1}{\pi} \int_{3\pi/2}^{2\pi+\pi/6} (I_a/3\sqrt{3}) \cos n\theta \, d\theta = \frac{2I_a}{\sqrt{3}n\pi} \cos \frac{n\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{3}$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} (I_a/3\sqrt{3}) \sin n\theta \, d\theta - \frac{1}{\pi} \int_{3\pi/2}^{2\pi+\pi/6} (I_a/3\sqrt{3}) \sin n\theta \, d\theta = \frac{2I_a}{\sqrt{3}n\pi} \sin \frac{n\pi}{2} \sin \frac{n\pi}{3}$$

$$c_n = \sqrt{(a_n^2 + b_n^2)} = \frac{2I_a}{3n\pi} \sin \frac{n\pi}{3}$$

$$\phi_n = \tan^{-1} (a_n/b_n) = \tan^{-1} (\cot n\pi/2)$$

$$I_1 = C_1/\sqrt{2} = I_a/(\pi\sqrt{2}), \quad \phi_1 = 0 \text{ y } I_s = \sqrt{2}I_a/(3\sqrt{3})$$

$$PF = I_1/I_s = 3\sqrt{3}/2\pi = 0.827 \text{ y } HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1} = 0.68$$



### Problema 2.3.31

El rectificador multifase en estrella de la figura P2.3.31a tiene seis pulsos proporcionando una corriente promedio de carga, libre de componente ondulatoria  $I_a$ . El primario del transformador está conectado en delta y el secundario en estrella. Suponga una relación de vueltas del transformador igual a la unidad.

- Dibuje las formas de onda para las corrientes en  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  y el primario del transformador,
- Expresé la corriente en el primario en series de Fourier
- determine el factor de potencia de entrada PF y el factor armónica HF de la corriente de entrada.

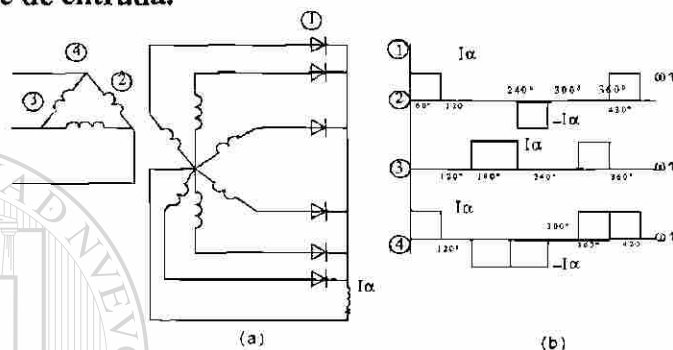


Figura P2.3.31

(b) Para la corriente de línea en el secundario

$$a_0/2 = 0$$

$$a_n = \frac{I_a}{\pi} \left[ \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \cos n\theta \, d\theta - \int_{\pi}^{5\pi/3} \cos n\theta \, d\theta + \int_{2\pi}^{2\pi+\pi/3} \cos n\theta \, d\theta \right] = -\frac{2I_a}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{2} \cos \frac{7n\pi}{6}$$

$$b_n = \frac{I_a}{\pi} \left[ \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \operatorname{sen} n\theta \, d\theta - \int_{\pi}^{5\pi/3} \operatorname{sen} n\theta \, d\theta + \int_{2\pi}^{2\pi+\pi/3} \operatorname{sen} n\theta \, d\theta \right] = \frac{I_a}{\pi} \left( 1 - \cos n\pi - 2 \operatorname{sen} \frac{n\pi}{2} \operatorname{sen} \frac{7n\pi}{6} \right)$$

$$\text{Para } n=1, C_1 = \sqrt{(a_1^2 + b_1^2)} = 2\sqrt{3}I_a/\pi$$

$$\phi_1 = \tan^{-1}(a_1/b_1) = \tan^{-1}(1/\sqrt{3}) = \pi/6$$

$$I_1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{2}\sqrt{3}I_a/\pi, \text{ y } I_s = I_a\sqrt{(2/3)}$$

(c) Para corriente de fase en el secundario o primario

$$a_0/2 = 0$$

$$a_n = \frac{I_a}{\pi} \left[ \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \cos n\theta \, d\theta - \int_{4\pi/3}^{5\pi/3} \cos n\theta \, d\theta \right] = 0$$

$$b_n = \frac{I_a}{\pi} \left[ \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \operatorname{sen} n\theta \, d\theta - \int_{4\pi/3}^{5\pi/3} \operatorname{sen} n\theta \, d\theta \right] = \frac{4I_a}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{2} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{6}$$

$$C_n = b_n \text{ y } \phi_n = 0$$

$$C_1 = 2I_a/\pi, I_1 = C_1/\sqrt{2} = 2I_a/(\sqrt{2}\pi), \phi_1 = 0 \text{ y } I_s = I_a/\sqrt{3}$$

$$PF = I_1/I_s = \sqrt{2}\sqrt{3}/\pi = 0.78 \text{ y } HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1} = 0.803$$

**Problema 2.3.32**

El puente rectificador trifásico de la figura P2.3.32 a proporciona una corriente de carga, libre de componente ondulatoria,  $I_a$ . El primario y el secundario del transformador están conectados en estrella. Suponga una relación de vueltas del transformador igual a la unidad

- Dibuje las formas de onda para las corrientes en  $D_1$ ,  $D_3$ ,  $D_5$  y la corriente de fase en el secundario del transformador,
- Expresa la corriente de fase en el secundario de Fourier y
- Determine el factor de potencia de entrada PF y del factor armónico HF de la corriente de entrada.

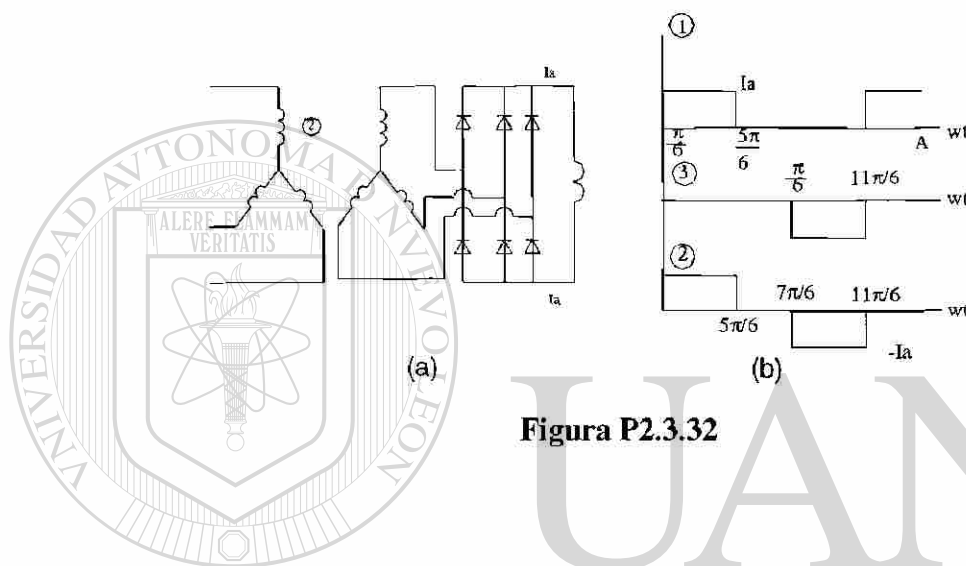


Figura P2.3.32

(b) Para la corriente de fase o de línea en el primario o secundario

$$a_0/2 = 0$$

$$a_n = \frac{2I_a}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \cos n\theta \, d\theta = \frac{4I_a}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3} \cos \frac{n\pi}{2}$$

$$b_n = \frac{2I_a}{\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \operatorname{sen} n\theta \, d\theta = \frac{4I_a}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{2}$$

$$C_n = \frac{4I_a}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3} \quad \text{y} \quad \phi_n = \tan^{-1}(a_n/b_n) = \tan^{-1}(\cot n\pi/2)$$

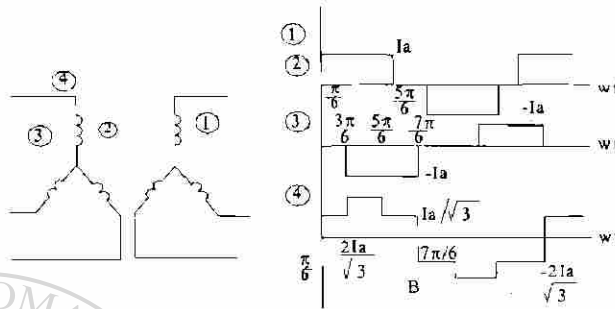
$$(c) C_1 = 2\sqrt{3} I_a / \pi \quad \phi_1 = 0$$

$$I_1 = C_1 / \sqrt{2} = \sqrt{2} \sqrt{3} I_a / \pi, \quad \text{y} \quad I_s = I_a \sqrt{(2/3)}$$

$$PF = I_1 / I_s = 3/\pi = 0.9549 \quad \text{y} \quad HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1} = 0.3108$$

**Problema 2.3.33**

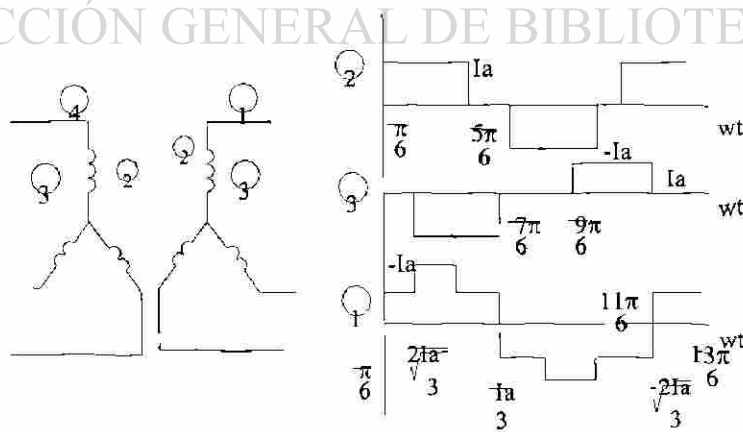
Repita el problema anterior si el primario del transformador está conectado en delta y el secundario en estrella.



**Figura P2.3.33**

**Problema 2.3.34**

Repita el problema 2.3.32 si tanto el primario como el secundario del transformador están conectados en delta.



**Figura P2.3.34**

(b) Para la corriente de línea en el primario o secundario o

$$a_o/2 = 0$$

$$a_n = \frac{2I_a}{\pi} \left[ \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \cos n\theta d\theta = \frac{4I_a}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3} \cos \frac{n\pi}{2} \right]$$

$$b_n = \frac{2I_a}{\pi} \left[ \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \operatorname{sen} n\theta d\theta = \frac{4I_a}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{2} \right]$$

$$c_n = \frac{4I_a}{n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3} \quad y$$

$$\phi_n = \tan^{-1}(a_n/b_n) = \tan^{-1}[\cot(n\pi/2)]$$

$$I_1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{2}\sqrt{3}I_a/\pi, \quad \phi_1 = 0 \quad y \quad I_s = I_a\sqrt{(2/3)}$$

(c) Para la corriente de fase en el primario o secundario o

$$a_o/2 = 0$$

$$a_n = \frac{2I_a}{3\pi} \left[ \int_{\pi/6}^{\pi/2} \cos n\theta d\theta + \int_{\pi/2}^{5\pi/6} 2 \cos n\theta d\theta + \int_{5\pi/6}^{7\pi/6} \cos n\theta d\theta \right]$$

$$= \frac{8I_a}{3n\pi} \cos \frac{2n\pi}{3} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3} \cos \frac{n\pi}{6}$$

$$b_n = \frac{2I_a}{3\pi} \left[ \int_{\pi/6}^{\pi/2} \operatorname{sen} n\theta d\theta + \int_{\pi/2}^{5\pi/6} 2 \operatorname{sen} n\theta d\theta + \int_{5\pi/6}^{7\pi/6} \operatorname{sen} n\theta d\theta \right]$$

$$= \frac{8I_a}{3n\pi} \operatorname{sen} \frac{2n\pi}{3} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3} \cos \frac{n\pi}{6}$$

$$c_n = \frac{8I_a}{3n\pi} \operatorname{sen} \frac{n\pi}{3} \cos \frac{n\pi}{6}$$

$$\phi_n = \tan^{-1}(a_n/b_n) = \tan^{-1}[\cot(2n\pi/3)]$$

$$C_1 = 2I_a/\pi \quad y \quad I_1 = C_1/\sqrt{2} = \sqrt{2}I_a/\pi, \quad \phi_1 = \tan^{-1}(-1/\sqrt{3}) = -\pi/6$$

$$I_s = \sqrt{2}I_a/3, \quad PF = I_1/I_s = 3/\pi = 0.9549$$

$$HF = \sqrt{(I_s/I_1)^2 - 1} = .3108$$

**Problema 2.3.35**

Un circuito de diodos se muestra en la figura P2.3.35, donde la corriente de carga está fluyendo a través del diodo  $D_m$ . Si se cierra el interruptor  $S_1$  en  $t = 0$ ,

Determine:

- expresiones para  $v_c(t)$ ,  $i_c(t)$  e  $i_d(t)$ ;
- el tiempo  $t_1$  donde el diodo  $D_1$  deja de conducir,
- el tiempo  $t_q$  donde el voltaje a través del capacitor se convierte en cero
- el tiempo requerido para que el capacitor se recargue al voltaje de alimentación  $V_s$ .

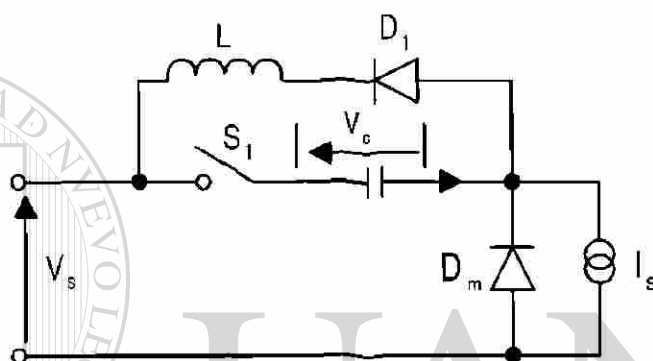


Figura P2.3.35

$$(a) i_c = i_d + I_m$$

$$v_c = \frac{1}{C} \int i_c dt + v_c(t=0) = -L \frac{di_d}{dt} = -L \frac{di_c}{dt}$$

Con la condición inicial :  $i_c(t=0) = I_m$  y  $v_c(t=0) = -V_s$

$$i_c(t) = V_s \sqrt{\frac{C}{L}} \operatorname{sen}(w_o t) + I_m \cos(w_o t)$$

Donde  $w_o = 1/\sqrt{LC}$

$$v_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i_c(t) dt = I_m \sqrt{\frac{L}{C}} \operatorname{sen}(w_o t) - V_s \cos(w_o t)$$

$$i_d(t) = V_s \sqrt{\frac{C}{L}} \operatorname{sen}(w_o t) + I_m \cos(w_o t) - I_m$$

(b) Para  $i_d(t=t_1) = 0$

$$i_d(t) = V_s \sqrt{\frac{C}{L}} \operatorname{sen}(w_o t) + I_m \cos(w_o t) - I_m = 0$$

$$o \cos \alpha \sin w_o t + \sin \alpha \cos w_o t = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$$

$$o \sin (w_o t_1 + \alpha) = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$$

$$o w_o t_1 = \sin^{-1} \left( \frac{1}{\sqrt{1+x^2}} \right) - \tan^{-1}(1/x)$$

$$\text{Donde } x = (V_s / I_m) \sqrt{(C/L)}$$

$$(c) v_c(t=t_q) = 0 \quad v_c(t) = I_m \sqrt{\frac{L}{C}} \sin(w_o t) - V_s \cos(w_o t) = 0$$

$$o t_q = \sqrt{(LC)} \tan^{-1}(x)$$

(d) El tiempo requerido para que el capacitor se cargue al voltaje de alimentaci3n en una corriente constante de  $I_m$  es,

$$v_c = v_s = \int_0^{t_1} I_m dt \quad t_1 = v_s C / I_m$$

El tiempo que tarda en cargar y descargar es  $t_2 = t_1 + t_q$

#### Problema 2.4.1

La capacitancia de uni3n de un tiristor puede suponerse independientemente del voltaje en estado inactivo. El valor limitante de la corriente de carga para activar el tiristor es 12 mA. Si el valor cr3tico de  $dv/dt$  es 800 V/ $\mu$ s, determine la capacitancia de la uni3n.

$dv/dt = 800 \text{ V}/\mu\text{s}, i_{j2} = 12 \text{ mA}$ . Desde  $d(C_{j2})/dt = 0$ , podemos encontrar el valor

$$\text{cr3tico de } dv/dt \text{ en la ec. } i_{j2} = \frac{d(q_{j2})}{dt} = \frac{d}{dt}(C_{j2} V_{j2}) = V_{j2} \frac{dC_{j2}}{dt} + C_{j2} \frac{dV_{j2}}{dt}$$

$$dv/dt = 800 \text{ V}/\mu\text{s} = i_{j2} / C_{j2} = 12 \times 10^{-3} / C_{j2}$$

$$o C_{j2} = 15 \text{ pF}$$

**Problema 2.4.2**

La capacitancia de unión de un tiristor es  $C_{J2} = 20 \text{ pF}$  y se puede suponer independiente del voltaje en estado inactivo. El valor limitante de la corriente de carga para activar el tiristor es  $15 \text{ mA}$ . Si se conecta un capacitor de  $0.01 \text{ }\mu\text{F}$  a través del tiristor, determine el valor crítico de  $dv/dt$ .

$$C_{J2} = 20 \text{ pF}, \quad i_{j2} = 15 \text{ mA}, \quad C_1 = 0.01 \text{ }\mu\text{F} = 10000 \text{ pF}$$

$$\text{La capacitancia efectiva} \quad C_e = C_1 + C_{J2} = 10020 \text{ pF}$$

$$dv/dt = i_{j2}/C_{J2} = 15 \times 10^{-3} / (20 \times 10^{-12}) = 750 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$i_2 = C_1 dv/dt = 0.01 \times 10^{-6} * 750 \times 10^6 = 7.5 \text{ A.}$$

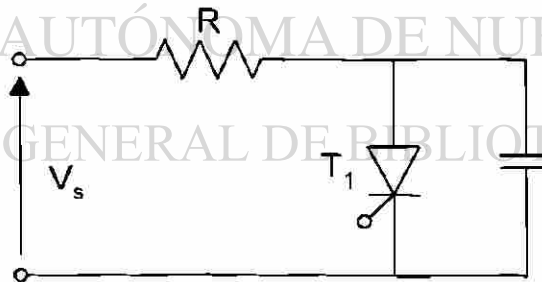
$$\text{Sustituyendo la corriente total} \quad i_T = i_{j2} + i_1 = 0.015 + 7.5 = 7.515 \text{ A.}$$

Nota : Si consideramos la corriente de carga con  $20 \text{ mA}$  entonces  $i_T = 20 \text{ mA}$ , el valor crítico de  $dv/dt$  es :

$$dv/dt = i_T/C_e = 10 \times 10^{-3} / (10020 \times 10^{-12}) = 1.497 \text{ V}/\mu\text{s}$$

**Problema 2.4.3**

En la figura P2.4.3 aparece un circuito de tiristor. La capacitancia de unión del tiristor es  $C_{J2} = 15 \text{ pF}$  y se puede suponer independiente del voltaje en estado inactivo. El valor limitante de la corriente de carga para activar el tiristor es  $5 \text{ mA}$  y el valor crítico de  $dv/dt$  es  $200 \text{ V}/\mu\text{s}$ . Determine el valor de la capacitancia  $C_s$  tal que el tiristor no se activa debido a  $dv/dt$ .



**Figura P2.4.3**

$$C_{J2} = 15 \text{ pF}, \quad i_{j2} = 5 \text{ mA}, \quad dv/dt = 200 \text{ V}/\mu\text{s}$$

La capacitancia efectiva

$$C_e = C_s + C_{J2}$$

$$dv/dt = 200 \times 10^6 = i_T/C_e = 5 \times 10^{-3} / C_e \quad \text{o} \quad C_e = 25 \text{ pF}$$

$$C_s = C_e - C_{J2} = 25 - 15 = 10 \text{ pF}$$

**Problema 2.4.4**

El voltaje de entrada en la figura P2.4.4 es  $V_s = 200\text{ V}$ , con una resistencia de carga de  $L = 50\ \mu\text{H}$ . Si la relación de amortiguamiento es 0.7 y la corriente de descarga del capacitor es de 5mA. Determine:

- (a) los valores de  $R_s$  y  $C_s$ , y  
 (b) el  $dv/dt$  máximo

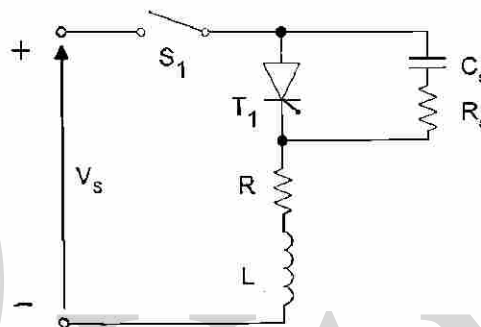


Figura P2.4.4

$$I_{TD} = 5\text{ A}, \quad R = 10\ \Omega, \quad L = 50\ \mu\text{H}, \quad L_s = 0, \quad V_s = 200\text{ V}, \quad \delta = 0.7$$

$$R_s = 200 / I_{TD} = 40\ \Omega$$

a) De la ecuación  $\delta = \frac{\alpha}{\omega_0} = \frac{R_s + R}{2} \sqrt{\frac{C_s}{L_s + L}}$ , ®

$$0.7 = \frac{[(10 + 40)/2]}{\sqrt{(C_s/L)}} \quad C_s = 0.0392\ \mu\text{F}$$

b) De la ecuación  $V_s \approx n_s V_{D1} - (n_s - 1) R \Delta I_D$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{0.368 * 10 * 200}{0.0392 * 10^{-6} * (10 + 40)} = 375.5\text{ V}/\mu\text{s}$$



### Problema 2.4.5

Repita el problema anterior si el voltaje de entrada es de CA,  $V_s = 179 \text{ sen } 377t$ .

$$I_{TD} = 5 \text{ A}, \quad R = 10\Omega, \quad L = 50 \mu\text{H}, \quad L_s = 0, \quad V_m = 179 \text{ V}, \quad \delta = 0.7$$

$$= 377 \text{ rad/s}, \quad R_s = 179/I_{TD} = 179/5 = 35.8\Omega$$

(a) De la ecuación  $\delta = \frac{\alpha}{\omega_s} = \frac{R_s + R}{2} \sqrt{\frac{C_s}{L_s + L}}$ ,

$$0.7 = [(10 + 35.8)/2] \sqrt{(C_s/L)} \quad \text{o} \quad C_s = 0.0467 \mu\text{F}$$

$$X_L = j 377 * 50 \times 10^{-6} = j0.0189 \Omega$$

$$X_C = -10^6 / (377 * 0.0467) = -j56799 \Omega$$

$X_C \ll X_L$ , y el efector de la inductancia lo tomamos de .

$$(R_s + R) i + \frac{1}{C_s} \int i dt = V_m \text{ sen } \theta, \quad \text{donde } \theta = 377 t$$

La corriente se soluciona de la siguiente forma

$$i(t) = I_o e^{-t/\tau} + \frac{V_m C_s}{[1 + (\omega\tau)^2]^{1/2}} \text{ sen } (\theta + \delta)$$

$$\text{donde } \tau = (R_s + R) C_s, \quad \delta = \tan^{-1}[1/(\omega\tau)]$$

La condición de  $i(t) = I_o$  Así  $t = 0$  obtenemos,

$$I_o = -\frac{V_m C_s}{[1 + (\omega\tau)^2]^{1/2}} \text{ sen } \delta$$

$$i(t) = \frac{V_m C_s}{[1 + (\omega\tau)^2]^{1/2}} [-\text{sen } \delta e^{-t/\tau} + \text{sen } (\theta + \delta)]$$

El voltaje total es :

$$v_s(t) = V_s - R i(t)$$

$$= V_m \text{ sen } \theta - \frac{V_m C_s}{[1 + (\omega\tau)^2]^{1/2}} [-\text{sen } \delta e^{-t/\tau} + \text{sen } (\theta + \delta)]$$

$$\frac{dv}{dt} = V_m \cos \theta - \frac{V_m C_s}{[1 + (\omega\tau)^2]^{1/2}} \left[ -\frac{\text{sen } \delta}{\tau} e^{-t/\tau} + \cos(\theta + \delta) \right]$$

$$\delta = 89.95^\circ$$

El resultado para  $dv/dt$  contra el tiempo cede un valor máximo a  $dv/dt$ .

El valor máximo para  $dv/dt$  con  $\theta = 0^\circ$  o  $180^\circ$

$$\text{Así } \theta = 0^\circ \quad dv/dt = 66009 \text{ v/s}$$

$$\text{Así } \theta = 180^\circ \quad dv/dt = -67483 \text{ V/s}$$

$$I_o = -3.15 \text{ mA}, \quad I_p = 3.15 \text{ mA}.$$

**Problema 2.4.6**

Un tiristor conduce una corriente como aparece en la figura. P2.4.6. La frecuencia de conmutación es  $f_s = 50$  Hz. Determine la corriente promedio en estado activo  $I_T$ .

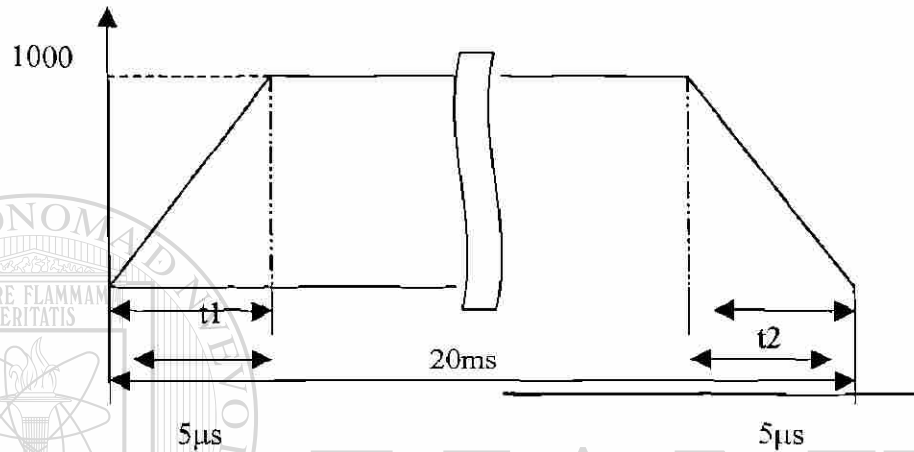


Figura P2.4.6

$$I_p = I_{TM} = 1000 \text{ v A}, \quad T = 1/f_s = 1/50 = 20 \text{ ms}, \quad t_1 = t_2 = 5 \mu\text{s}$$

La corriente promedio en estado activo es.

$$I_T = \frac{1}{20000} [0.5 * 5 * 1000 + (20000 - 2 * 5) * 1000 + 0.5 * 5 * 1000] = 999.5 \text{ A.}$$

### Problema 2.4.7

Una cadena de tiristores se conecta en serie para soportar un voltaje de CD  $V_s = 15$  kV. La corriente de fuga máxima y las diferencias de carga de recuperación de los tiristores son de 10 mA y 150  $\mu$ C, respectivamente. Un factor de reducción de especificación o decaimiento del 20% ha sido aplicado a la distribución en régimen de estado permanente y de voltaje transitorio de los tiristores. Si la compartición máxima de voltaje de régimen permanente es 1000 V, determine:

- la resistencia  $R$  de compartición de voltaje en régimen permanente de cada tiristor.
- la capacitancia  $C_1$  del voltaje transitorio de cada tiristor.

$$V_s = 15000 \text{ V}, I_D = 10 \text{ mA}, Q = 150 \mu\text{C}, DRF = 20\% \quad V_D(\text{max}) = 1000 \text{ V}$$

$$\text{De la ecuación } DRF = 1 - \frac{V_s}{n_s V_{DS(\text{max})}}$$

$$DRF = 1 - V_s / (n_s - V_{D(\text{max})}) \quad \text{o} \quad 0.2 = 1 - 15000 / (n_s * 1000)$$

$$n_s = 18.75 \approx 19 \text{ (tiristores)}$$

$$(a) \text{ De la ecuación } V_{DS(\text{max})} = \frac{V_s + (n_s - 1)RI_{D2}}{n_s}$$

$$1000 = \left[ \frac{15000 + (19 - 1) R * 10 \times 10^{-3}}{19} \right] \quad \text{o} \quad R = 222.222 \text{ k}\Omega$$

$$(b) \text{ De la ecuación } V_{DT(\text{max})} = \frac{1}{n_s} \left[ V_s + \frac{(n_s - 1)Q_1}{C_1} \right]$$

$$1000 = \frac{1}{19} \left[ 15000 + \frac{(19 - 1) * 150 \times 10^{-6}}{C_1} \right] \quad \text{o} \quad C_1 = 0.675 \mu\text{F}$$

**Problema 2.4.8**

Dos tiristores están conectados en paralelo para convertir una corriente de carga total  $I_L = 600 \text{ A}$ . La caída de voltaje en estado activo de un tiristor es  $V_{T1} = 1.0 \text{ a } 600 \text{ A}$  y la de los otros tiristores es  $V_{T2} = 1.5 \text{ V a } 300 \text{ A}$ . Determine los valores de las resistencias en serie necesarias para obligar a la compartición de corriente con una diferencia del 10%. El voltaje total  $V = 2.5 \text{ V}$ .

$$I_T = 600 \text{ A}, V_{T1} = 1.0 \text{ a } 300 \text{ A}, V_{T2} = 1.5 \text{ V, a } 300 \text{ A} \text{ El voltaje total es}$$

$$V_T = 2.5 \text{ V},$$

$$I_1 - I_2 = 0.1 * 600 = 60 \text{ A.}$$

$$I_1 + I_2 = 600 \text{ A}$$

$$I_1 = 330 \text{ A}, I_2 = 270 \text{ A}$$

$$V_{T1} + R_1 I_1 = V_T$$

$$V_{T1} + R_1 I_1 = V_{T2} + R_2 I_2$$

$$1 + R_1 * 330 = 1.5 + R_2 * 270 \quad 330 R_1 - R_2 = 0.5$$

$$V_{T1} + R_1 I_1 = V_T$$

$$\circ R_1 = (V_T - V_{T1}) / I_1 = (2.5 - 1) / 330 = 4.545 \text{ m}\Omega$$

$$V_{T2} + R_2 I_2 = V_T$$

$$\circ R_2 = (V_T - V_{T2}) / I_2 = (2.5 - 1.5) / 270 = 3.7037 \text{ m}\Omega$$

**Problema 2.4.9**

Diseñe el circuito de disparo de la figura P2.4.9. Los parámetros de UJT son  $V_s = 20\text{ V}$ ,  $\eta = 0.66$ ,  $I_p = 10\mu\text{A}$ ,  $V_v = 2.5$  e  $I_v = 10\text{ mA}$ . La frecuencia de oscilación es  $f = 1\text{ kHz}$ , y el ancho de pulso de compuerta es  $t_g = 40\mu\text{s}$ .

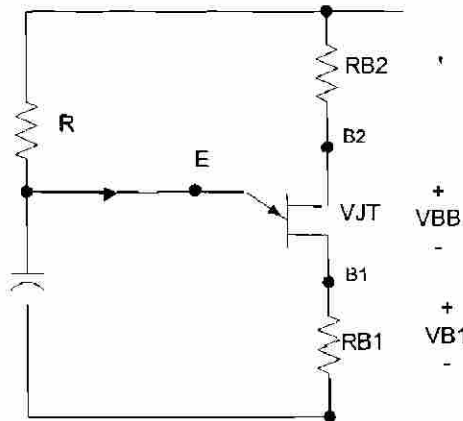


Figura P2.4.9

$$T = 1/f = 1/1\text{ kHz} = 1\text{ ms}$$

$$\text{De la ec. } V_p = \eta V_{BB} + V_D, V_p = 0.66 * 20 + 0.5 = 14.2\text{ V}$$

$$\text{Dejando } C = 0.5\ \mu\text{F}$$

$$\text{De la ecs. } R < \frac{V_s - V_p}{I_p} \text{ y } R > \frac{V_s - V_v}{I_v},$$

La resistencia  $R$  esta limitada entre los valores de

$$R < (20 - 14.2)/10\ \mu\text{A} = 580\ \text{k}\Omega$$

$$R > (20 - 2.5)/10\ \text{mA} = 1.75\ \text{k}\Omega$$

$$\text{De la ec. } T = \frac{1}{f} \approx RC \ln \frac{1}{1-\eta}, 1\ \text{ms} = R * 0.5\ \mu\text{F} * \ln [1/(1-0.66)]$$

$$\text{Esto nos da } R = 1.58\ \text{k}\Omega$$

Y cae dentro del valor limite.

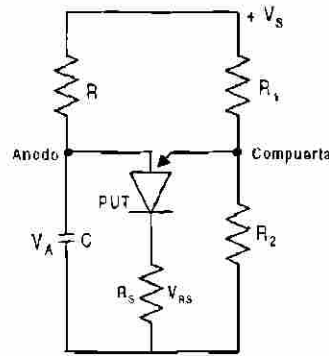
$$\text{El voltaje de pico } V_{B1} = V_p = 14.2\text{ V.}$$

$$\text{De la ec. } t_g = R_{B1} C, R_{B1} = t_g/C = 40\ \mu\text{s}/0.5\ \mu\text{F} = 80\ \Omega$$

$$\text{De la ec. } R_{B2} = \frac{10^4}{\eta V_s}, R_{B2} = 10^4 / (0.66 * 20) = 758\ \Omega$$

**Problema 2.4.10**

Diseñe el circuito de disparo de la figura P2.4.10. Los parámetros de PUT son  $v_s = 20$  V, e  $I_G = 1.5$  mA. La frecuencia de oscilación es  $f = 1$  kHz. El ancho de pulso es  $t_g = 40 \mu s$  y el pulso pico de disparo es  $V_{R_s} = 8$  V.

**Figura P2.4.10**

$$T = 1/f = 1/1 \text{ kHz} = 1 \text{ ms}$$

El pulso pico de disparo es  $V_{R_k} = V_p = 10$  V.

Dejando  $C = 0.5 \mu F$

De la ecuación,  $t_g = R_{B1} C$ ,  $R_k = t_g/C = 40 \mu s / 0.5 \mu F = 80 \Omega$

De la ecuación,  $R_{B2} = \frac{10^4}{\eta V_s}$ ,  $\eta = V_p / V_s = 10 / 20 = 1/2$

De la ecuación,  $T = \frac{1}{f} \approx RC \ln \frac{V_s}{V_s - V_p} = RC \ln \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$

$$1 \text{ ms} = R * 0.5 \mu F * \ln \{20/(20 - 10)\}$$

Encontramos  $R = 2.89 \text{ k}\Omega$

Para  $I_G = 1.5 \text{ mA}$ , Ec. (4.32) da

$$R_G = (1 - 1/2) * 20 / 1.5 \text{ mA} = 6.67 \text{ k}\Omega.$$

De la ecuación,  $R_1 = \frac{R_G}{\eta}$ ,  $R_1 = R_G / \eta = 6.67 \text{ k}\Omega * 2/1 = 13.33 \text{ k}\Omega$

De la ecuación,  $R_2 = \frac{R_G}{1 - \eta}$ ,  $R_2 = R_G / (1 - \eta) = 6.67 \text{ k}\Omega * 2/1 = 13.33 \text{ k}\Omega$

**Problema 2.4.11**

La pérdida de potencia de un dispositivo se muestra en la figura P2.4.11 Grafique la elevación instantánea de temperatura de la unión por arriba de la cápsula. Para  $t_1 = t_3 = t_5 = t_7 = 0.5 \text{ ms}$   $Z_1 = Z_3 = Z_5 = Z_7 = 0.025^\circ \text{C/W}$ .

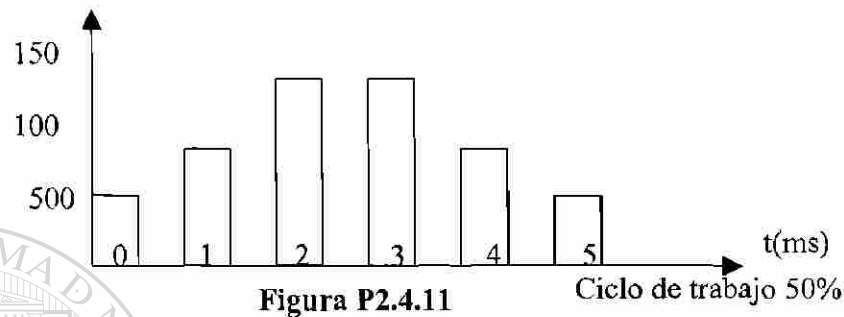


Figura P2.4.11

Ciclo de trabajo 50%

$$P_1 = 500 \text{ W}, P_3 = 1000 \text{ W}, P_5 = 5000 \text{ W}, P_7 = 1500 \text{ W}, P_9 = 1000 \text{ W}, P_{11} = 500 \text{ W}$$

$$\text{Para } t_1 = t_3 = t_5 = t_7 = t_9 = t_{11} = 0.5 \text{ ms},$$

$$z(t = t_1) = Z_1 = Z_2 = Z_5 = Z_7 = Z_9 = Z_{11} = 0.0025^\circ \text{C/W}$$

$$\text{Para } t_2 = t_4 = t_6 = t_8 = t_{10} = 0.5 \text{ ms},$$

$$z(t = t_2) = Z_2 = Z_4 = Z_6 = Z_8 = Z_{10} = 0.0025^\circ \text{C/W}$$

$$\text{Se puede aplicar la ecuación } T_j(t) = T_{j0} + \sum_{n=1,3,\dots}^m P_n (Z_n - Z_{n+1})$$

directamente a fin de calcular la elevación de temperatura de la unión

$$\Delta T_j(t = 0.5 \text{ ms}) = T_j(t = 0.5 \text{ ms}) - T_{j0} = Z_1 P_1 = 0.0025 * 500 = 1.25^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 1 \text{ ms}) = 1.25 - Z_2 P_1 = 1.25 - 0.0025 * 1000 = 0^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 1.5 \text{ ms}) = 0 + Z_3 P_3 = 0 + 0.0025 * 1000 = 2.5^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 2 \text{ ms}) = 2.5 - Z_4 P_3 = 2.5 - 0.0025 * 1000 = 0^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 2.5 \text{ ms}) = 0 + Z_5 P_5 = 0 + 0.0025 * 1500 = 3.75^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 3 \text{ ms}) = 3.75 - Z_6 P_5 = 3.75 + 0.0025 * 1500 = 0^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 3.5 \text{ ms}) = 0 + Z_7 P_7 = 0 + 0.0025 * 1500 = 3.75^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 4 \text{ ms}) = 3.75 - Z_8 P_7 = 3.75 - 0.0025 * 1500 = 0^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 4.5 \text{ ms}) = 0 + Z_9 P_9 = 0 + 0.0025 * 1000 = 2.5^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 5 \text{ ms}) = 2.5 - Z_{10} P_9 = 2.5 - 0.0025 * 1000 = 0^\circ \text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 5.5 \text{ ms}) = 0 + Z_{11} P_{11} = 0 + 0.0025 * 500 = 1.25^\circ \text{C}$$

### Problema 2.4.12

La pérdida de potencia de un dispositivo aparece en la figura P2.4.12. Grafique la elevación instantánea de la unión por arriba de la temperatura de la cápsula Para  $t_1 = t_2 = \dots t_9 = t_{10} = 1 \text{ ms}$ ,  $Z_1 = Z_2 = \dots = Z_9 = Z_{10} = 0.035^\circ\text{C/W}$ . (Sugerencia: aproxímese mediante cinco pulsos rectangulares de igual duración.)

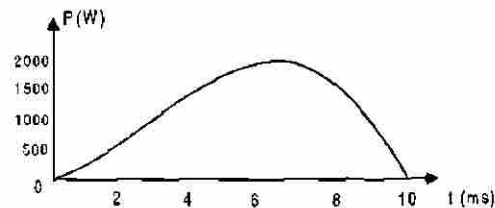


Figura P2.4.12

$$P_1 = 385 \text{ W}, P_2 = 960 \text{ W}, P_3 = 1440 \text{ W}, P_4 = 1440 \text{ W}, P_5 = 600 \text{ W}$$

$$P_0 = 12.5 * 75.4 = 942.5 \text{ W.}$$

De la ecuación  $\delta = -\tan^{-1} \frac{I_a X_q \cos \theta_m}{V_a - I_a X_q \sin \theta_m}$

$$\tan(3.6^\circ) = \left[ \frac{18.5 I_a \cos \theta_m}{132.79 - 3 I_a \sin \theta_m} \right]$$

$$\text{y } P_0 = 942.5 = 3 * 132.79 I_a \cos \theta_m$$

$I_a$  y  $\theta_m$  las dos se pueden determinar con las siguientes ecuaciones y encontramos

$$I_a = 7.76 \text{ A} \quad \text{y } \theta_m = 72.25^\circ.$$

$$PF = \cos(72.25^\circ) = 0.3049$$

$$\text{Para } t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = 2 \text{ ms,}$$

$$z(t = t_j) = Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_5 = 0.005^\circ\text{C/W}$$

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$\text{Se puede aplicar la ecuación } T_j(t) = T_{j0} + \sum_{n=1,3,\dots}^m P_n (Z_n - Z_{n+1})$$

directamente a fin de calcular la

elevación de temperatura de la unión

$$\Delta T_j(t = 2 \text{ ms}) = T_j(t = 2 \text{ ms}) - T_{j0} = Z_1 P_1 = 0.005 * 385 = 1.925^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 4 \text{ ms}) = 1.925 + 0.005 * (960 - 385) = 4.8^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 6 \text{ ms}) = 4.8 + 0.005 * (1440 - 960) = 7.2^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 8 \text{ ms}) = 7.2 + 0.005 * (1440 - 1440) = 7.2^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_j(t = 10 \text{ ms}) = 7.2 + 0.005 * (600 - 1440) = 3^\circ\text{C}$$



### Problema 2.4.13

La forma de la onda de la corriente a través del tiristor IR, tipo S30EF, se muestra en la figura P2.3.13. Grafique:

- la pérdida de potencia en función del tiempo, y
- la elevación instantánea de la temperatura de la unión por arriba de la cápsula. (Sugerencia: suponga la pérdida de potencia durante el encendido y el apagado en forma de rectángulos.)

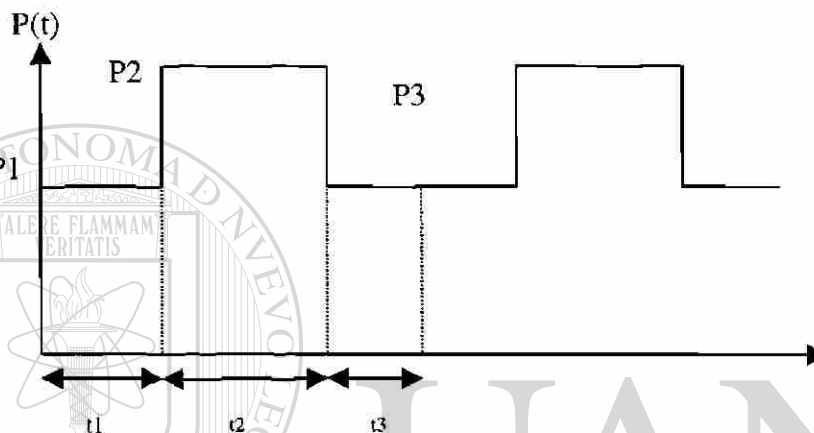


Figura P2.4.13

$$f_s = 50 \text{ Hz}, t_1 = t_3 = 5 \mu\text{s}, t_2 = 20 \text{ ms}$$

$$\text{Para } 0 \leq t \leq t_1, \text{ en } I_p = 1000 \text{ A,}$$

el dato de la hoja da la energía perdida por pulso,

$$W_s = 0.08 \text{ W/pulso (Para una duración de } 10 \mu\text{s)}$$

$$P_1 = P_3 = 0.08 * 50 = 4 \text{ W}$$

$$\text{El ciclo } K = 20 / (0.005 + 20 + 0.05) \approx 1.$$

De la hoja de datos, en  $I_p = 1000 \text{ A}$ , y

$$k = 1, P_2 = 2000 \text{ W}$$

$$\text{De la hoja de datos, } z(t = t_1) = Z_1 = Z_3 = 4 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$z(t = t_2) = Z_2 = 1.2 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Se puede aplicar la ecuación  $T_j(t) = T_{j0} + \sum_{n=1,2,\dots}^m Z_n (P_n - P_{n+1})$

directamente a fin de calcular la

elevación de la temperatura de la unión

$$\Delta T_j (t = 5 \mu\text{s}) = T_j (t = 5 \mu\text{s}) - T_{j0} = Z_1 P_1 = 4 \times 10^{-4} * 4 = 16 \times 10^{-4} = 0^\circ\text{C}$$

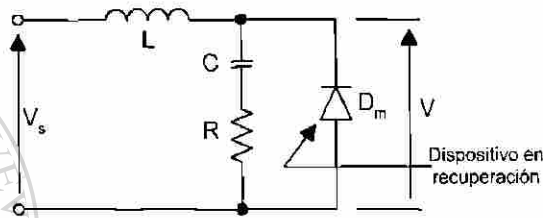
$$\Delta T_j (t = 20.005 \text{ ms}) = 16 \times 10^{-4} + Z_2 (P_2 - P_1) = 35.93^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_j (t = 20.01 \text{ ms}) = 35.93 + Z_3 (P_3 - P_2) = 35.13^\circ\text{C}$$

**Problema 2.4.14**

La corriente de recuperación de un dispositivo es  $I_r = 30 \text{ A}$  y la inductancia del circuito es  $L = 20 \mu\text{H}$ . La corriente de entrada es  $V_s = 200 \text{ V}$ . Si resulta necesario limitar el voltaje transitorio de pico a 1.8 veces el voltaje de entrada, determine:

- el valor óptimo de la relación de corriente  $V_o$ ,
- el factor óptimo de amortiguación  $\delta o$ ,
- la capacitancia del circuito de apoyo  $C$ ,
- la resistencia del circuito de apoyo  $R$ ,
- el  $dv/dt$  promedio y
- el voltaje inicial inverso.

**Figura P2.4.14**

$$I_R = 30 \text{ A}, L = 20 \mu\text{H}, V = 200 \text{ V}, V_p = 1.8 * 220 = 360 \text{ V}$$

Para  $V_p/V_s = 1.8$ , De las características óptimas encontramos :

- El factor óptimo de corriente  $d = 1.4$ ,
- El factor óptimo de amortiguamiento  $\delta = 0.27$

(c) De la ecuación  $C = L \left[ \frac{I_R}{dV_s} \right]^2$ , la capacitancia del circuito de apoyo  $C$  es :

$$- C = 20 \left[ 30 / (1.4 * 200) \right]^2 = 0.2296 \mu\text{F}$$

(d) De la ecuación  $R = 2\delta \sqrt{\frac{L}{C}}$ , la resistencia del circuito de apoyo es :

$$- R = 2 * 0.27 \sqrt{(20 / 0.2296)} = 5.04 \Omega$$

(e) De la ecuación  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ,  $\omega_0 = 10^6 / \sqrt{(20 * 0.2296)} = 466667 \text{ rad/s}$

$$\text{por parámetros óptimos : } \frac{dv/dt}{V_s \omega_0} = 1.2$$

$$\text{o } dv/dt = 1.2 V_s \omega_0 = 1.2 * 200 * 466667 = 112 \text{ V}/\mu\text{s}$$

(f) De la ecuación  $V(t=0) = RI_R$ , el voltaje inicial inverso es

$$V(t=0) = 5.04 * 30 = 151.2 \text{ V}$$

**Problema 2.4.15**

La corriente de recuperación de un dispositivo es  $I_r = 10 \text{ A}$  y la inductancia del circuito es  $L = 80 \mu\text{H}$ . La corriente de entrada es  $V_s = 200 \text{ V}$ . La resistencia del circuito de apoyo es  $R = 2 \Omega$  y la capacitancia del mismo es  $C = 50 \mu\text{F}$  determine:

- la relación de amortiguamiento  $\delta$ ,
- el voltaje transitorio de pico  $V_p$ ,
- la relación de corriente  $d$ ,
- el  $dv/dt$  promedio y
- el voltaje inicial inverso.

$$I_r = 10 \text{ A}, L = 80 \mu\text{H}, C = 50 \mu\text{F}, R = 2 \Omega, V_s = 200 \text{ V}$$

$$\text{De la ecuación } \alpha = \frac{R}{2L}, \alpha = 2 / (2 * 80) = 12500$$

$$\text{De la ecuación } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \omega_0 = 10^6 / \sqrt{(80 * 50)} = 9682 \text{ rad/s}$$

$$\text{a) De la ecuación } \delta = \frac{\alpha}{\omega_0}, \text{ la relación de amortiguamiento es}$$

$$\delta = (2\sqrt{2}) \sqrt{(50/80)} = 0.7906$$

$$\text{b) De la ecuación } \tan \omega t_1 = \frac{\omega[(V_s - RI_r)2\alpha + I_r/C]}{(V_s - RI_r)(\omega^2 - \alpha^2) - \alpha I_r/C},$$

$$t_1 = 192.54 \mu\text{s}$$

$$\text{De la ecuación } V_p = v(t = t_1), V_p = 226.52 \text{ V}$$

$$\text{c) De la ecuación } d = \frac{I_r}{V_s} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{I_r}{I_p}, d = (10/200) \sqrt{(80/50)} = -0.0632$$

$$\text{d) De la ecuación } V_s \omega_0 (2\delta - 4d\delta^2 + d), \text{ el } dv/dt \text{ promedio} = 4.5 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$\text{e) De la ecuación } d = \frac{I_r}{V_s} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{I_r}{I_p}, \text{ el voltaje inicial inverso} = 2 * 10 = 20 \text{ V.}$$

## 4.2 Direcciones investigadas en Internet

Actualmente se dispone de un gran recurso que es el Internet donde existen gran cantidad de recursos de actualidad de casi todas las áreas, en donde podemos revisar cual es la tendencia tecnológica, tener información de otras universidades del mundo, simposium en diferentes partes, proyectos de investigación, condensados de libros, cursos de actualización, datos de componentes y otras muchas áreas mas.

Las direcciones que a continuación se presentan, fueron seleccionadas en función a la relación que tienen con algunos de estos tópicos.

<http://www.arduini.com/papers.html>

<http://nmp.jpl.nasa.gov/dsl/tech/lpe.html>

<http://www.danfoss.com/Products/A50APP.asp>

<http://www.apec-conf.org/>

<http://www.ee.washington.edu/class/cadta/cadence/index.html>

<http://www.cdsp.neu.edu/>

<http://www.cicem.rpi.edu/>

<http://elpe.ecs.arizona.edu/>

[http://www.usnews.com/usnews/edu/ugrad00/drglance\\_1131.htm](http://www.usnews.com/usnews/edu/ugrad00/drglance_1131.htm)

<http://www.cpes.vt.edu/>

<http://www.danfoss.com/>

<http://www.danfossdrives.com/danfoss.html>

<http://www.grahamdrives.com/>

[http://schof.colorado.edu/~ecen5797/1998/syllabus/Lecture\\_schedule.html](http://schof.colorado.edu/~ecen5797/1998/syllabus/Lecture_schedule.html)

<http://schof.colorado.edu/~ecen5807/>

<http://www.ee.unsw.edu.au/ugrad/subjects/elec3005.htm#text>

<http://www.rpi.edu/dept/epe/WWW/corslist.html>

<http://www.semikron.de/seminew/framee11.htm>

<http://www.ece.orst.edu/~schreier/HSPICE/device.html>

<http://www.cdpowerelectronics.com/>

<http://www.hanmiohm.co.kr/>

<http://www.hitachi.com/>

[http://www.hwsams.com/power\\_supply\\_t&r.html](http://www.hwsams.com/power_supply_t&r.html)

<http://www.semikron.de/seminew/framee3.htm>

<http://www.survivalsystems.com/>

<http://www.iap.com/>

<http://www.pels.org/Comm/History/History.htm>

[http://www.ieee.org/organizations/pubs/pub\\_preview/pel\\_toc.html](http://www.ieee.org/organizations/pubs/pub_preview/pel_toc.html)

[http://schof.colorado.edu/~ecen5807/course\\_material/compact\\_notes/](http://schof.colorado.edu/~ecen5807/course_material/compact_notes/)

<http://www.ece.orst.edu/~schreier/HSPICE/Training/>

<http://powerlearn.ece.vt.edu/modules/index.html>

<http://www.lindselectronics.com/>

<http://www.ucop.edu/research/micro/>

<http://www.wkap.nl/kaphtml.htm/BOORDINF>

<http://www.ornl.gov/etd/peemc/PEEMCProjects.htm>

<http://pesc00.ucg.ie/>

<http://www.eng.uci.edu/pel/pel.html#anchor70459>

<http://ece-www.colorado.edu/~maksimov/links.html>  
<http://www.powerelectronics.net/>  
<http://www.ntu.edu/1/credit/ps541c.htm>  
<http://www.ac-simplex.fr/products/default.htm>  
<http://www.eng.rpi.edu/frame.html>  
[http://news.stockmaster.com/sec\\_key.asp?ticker=MOT](http://news.stockmaster.com/sec_key.asp?ticker=MOT)  
<http://www.survivalsystems.com/techart.html>  
[http://www.trans-ie.uni-wuppertal.de/abs/ies46\\_2.html](http://www.trans-ie.uni-wuppertal.de/abs/ies46_2.html)  
<http://schof.colorado.edu/~pwrelect/Rframeset.html>  
<http://www.cdpowerelectronics.com/>  
<http://www.asl.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

### Universidades

<http://www.ecpe.vt.edu/>  
<http://www.engr.wisc.edu/ece/courses/>  
<http://al-basit.info-ab.uclm.es/~amartine/>  
<http://www.ucc.ie/ucc/depts/elec/research/mechatronics/mechatronics.html>  
<http://faith.swan.ac.uk/wrongway.html>  
<http://www.nasa.gov/>  
<http://pei.ucc.ie/INDEX.HTML>  
<http://eepe.swan.ac.uk/elinks.htm>  
<http://www.rwth-aachen.de/>  
<http://society.swan.ac.uk/index.html>  
<http://www.engr.wisc.edu/>

### Libros

<http://www.e-insite.net/>  
<http://www.e-insite.net/e-insite/publications.asp>  
<http://www.fatbrain.com/>  
<http://powerelectronics.com/arc/>  
[http://www.infotrac.apla.galegroup.com/itw/start\\_session?http\\_rc=400&class=session&sev=temp&type=session&cause=http%3A%2F%2Fweb7.infotrac.apla.galegroup.com%2F%2Fitw%2Finfomark%2F373%2F1%2F60217724w3%2Fpur1%3D%26dyn%3Dsig!1%3Fsw\\_aep%3Ddit&cont=&msg=No+session+cookies&sw\\_aep=dit](http://www.infotrac.apla.galegroup.com/itw/start_session?http_rc=400&class=session&sev=temp&type=session&cause=http%3A%2F%2Fweb7.infotrac.apla.galegroup.com%2F%2Fitw%2Finfomark%2F373%2F1%2F60217724w3%2Fpur1%3D%26dyn%3Dsig!1%3Fsw_aep%3Ddit&cont=&msg=No+session+cookies&sw_aep=dit)

### Revistas en Línea

<http://www.pcim.com/onlineart.html>

### Suscripción de Revistas

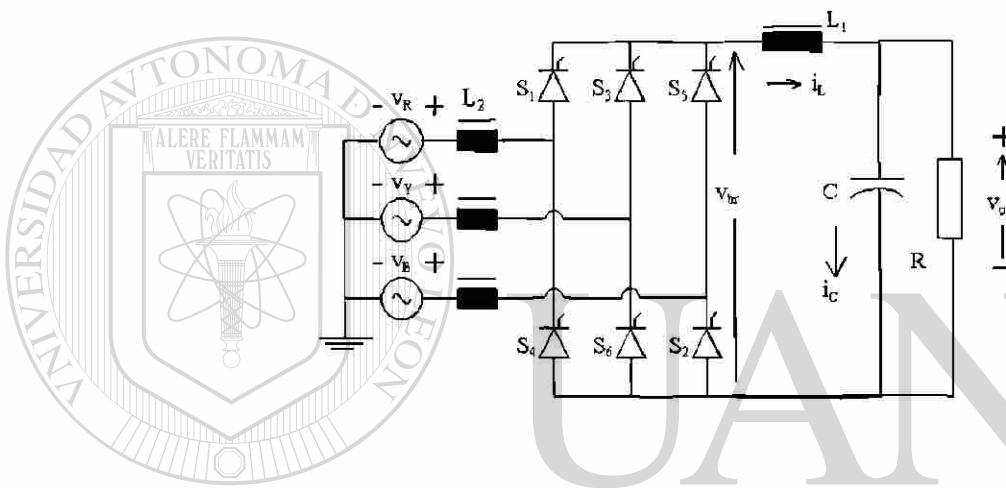
<http://www.airpaxppp.com/pppsite/tpsales.html>  
<http://www.mot.com/SPS/WIRELESS/cellular/>  
<http://www.elarostat.com/>  
<http://ebus.motorola.com/ProdCat/DesignCenter>  
<http://www.mot-sps.com/support/index.html>  
[http://www.mot-sps.com/news\\_center/press\\_releases/PR000127A.html](http://www.mot-sps.com/news_center/press_releases/PR000127A.html)  
<http://www.sensorsmag.com/articles/0200/28/index.htm>  
<http://www.transducertechniques.com/product1.html>  
[http://www.kavlico.com/index\\_flash.html](http://www.kavlico.com/index_flash.html)

### 4.3 Simulaciones

Los programas para simulación que se obtuvieron, son para operar con los siguientes paquetes de software: Mat-Lab, C++, Pspice y applet.

Este tipo de programas puede ser modificados en función de lo que deseemos obtener.

#### SIMULACION UTILIZANDO C



```
// Simulación de un circuito rectificador de onda
// completa monofásico
// Con este programa obtenemos la respuesta transitoria,
// el periodo. El ángulo de conmutación es también calculado
// Cálculos, tales como: El voltaje promedio que pasara por
// el rectificador del puente de diodo con
// carga resistiva y tomando esta como unitaria.
// La corriente promedio a través de la carga resistiva
// con carga puramente resistiva en el puente rectificador de
// diodos es tomada como la corriente unitaria.
// Los parámetros que se deben proporcionar son tres:
// La relación entre la carga ocasionada por la XL y la R  $XL_1/R$ 
// La relación de la XL de la fuente a la R de la carga  $XL_2/R$ 
// Y por ultimo el ángulo de disparo del scr expresado en grados.
```

```
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
```

```
#include<stdio.h>
#include<string.h>
#include<iostream.h>

void kreateRespFile(void);
void tranResponse(void);
void OneCycle(void);
void computeOneStep(void);
void produceEntries(void);
```

```
const double pi=3.1415926;
const double deg_rad=pi/180.0;
const double step=pi/720.0;
```

```
double L1,L2,alpha,fang,elapseAng,cycleAng,tote_knt;
double cur_load,cur_line,outVolt,vSource,vInput,capVolt;
double OverLapangle,Cap,capCur,dcLinkCur,Res;
int commute,toggle,yes_Entry,modeSw;
FILE *fnew;
char *tstr,*p;
```

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN <sup>®</sup>

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

```
int main(void)
{
float ka1,kb2,kc3,kd4,ke5;
printf(" \n");
printf(" Constante de tiempo de la carga en radianes = ");
scanf("%f",&ka1);
L1=(double)ka1;
if (L1<0.05) L1=0.05;
printf(" \n");
printf(" Constante de tiempo de la reactancia de línea en radianes = ");
scanf("%f",&kb2);
L2=(double)kb2;
printf(" \n");
printf(" Constante de tiempo del filtro capacitor en radianes = ");
scanf("%f",&kc3);
Cap=(double)kc3;
```

```

if (Cap<0.1) Cap=0.1;
if (Cap>10.0) Cap=10.0;
printf(" \n");
printf(" Resistencia de carga en p.u. = ");
scanf("%f",&ke5);
Res=(double)ke5;
if (Res<0.1) Res=0.1;
if (Res>10.0) Res=10.0;
printf(" \n");
printf(" Angulo de disparo en grados = ");
scanf("%f",&kd4);
alpha=(double)kd4;
fang=alpha*deg_rad;
alpha=0.0;
printf(" \n");

// Inicializar no es necesario para variables globales
elapseAng=0.0 ; cycleAng=0.0; capCur=0.0; capVolt=0.0;
cur_load=0.0; cur_line=0.0; outVolt=0.0; tote_knt=0.0;
OverLapangle=0.0; commute=0; yes_Entry=0; dcLinkCur=0.0;
cur_load=0.0;

```

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

```

// Se crea un archivo para introducir respuesta transitoria

```

```

fnew=fopen("tran_v3.csv","w+r");
tranResponse();
fclose(fnew);
return 0;
}

```

```

void kreateRespFile(void)

```

```

{
int n1,n2;
tstr="Angle,InputV,VoutBr,dcLinkCur,LineCur,IndVolt,LoadVolt,capCur"
;
p=strtok(tstr,",");
fprintf(fnew,p); fprintf(fnew,",");
n2=8;
for (n1=0;n1<(n2-1);n1++)

```



```

{
  p=strtok(NULL,",");
  if (n1!=(n2-2))
    {
      fprintf(fnew,p); fprintf(fnew,",");
    }
  else
    {
      fprintf(fnew,p); fprintf(fnew,"\n");
    }
}
}

```

```

void tranResponse(void)
{
  double d1;
  int NumCycles,count;
  d1=(6.0*(L1+L2+Cap))/(2.0*pi)+0.5;
  NumCycles=(int)d1 + 1;
  kreateRespFile();
  modeSw=1;
  for (count=0;count<=NumCycles;count++)
    OneCycle();
}

```

```

void OneCycle(void)
{
  int knt;
  double dknt;
  dknt=0.0;

```

```

  for (knt=0;knt<1440;knt++)
    {
      cycleAng=dknt*step;
      vInput=pi/2.0*sin(cycleAng);
      if ((cycleAng<fang) || (cycleAng>(fang+pi)))
        {
          if (cycleAng<fang) vSource=pi/2.0*sin(cycleAng+pi);

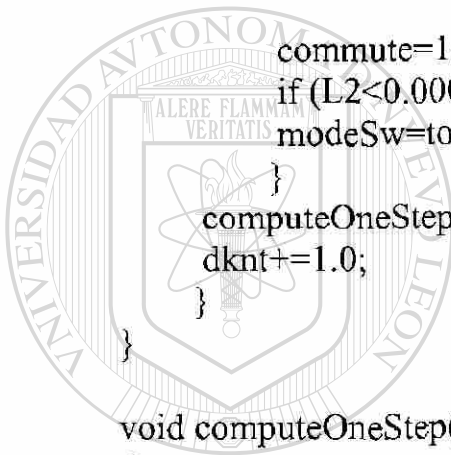
```

```

        else vSource=pi/2.0*sin(cycleAng-pi);
        toggle=0;
    }
else
    {
        vSource=pi/2.0*sin(cycleAng);
        toggle=1;
    }
if (modeSw!=toggle)
    {
        commute=1;
        if (L2<0.0005) commute=0;
        modeSw=toggle;
    }
    computeOneStep();
    dknt+=1.0;
}

void computeOneStep(void)
{
    double dLoadI,dLineI,doutV;
    switch (commute)
    {
    case 0:
        dLoadI=(vSource-dcLinkCur)/(L1+L2)*step;
        doutV=(dcLinkCur-capVolt/Res)*step/Cap;
        dcLinkCur=dcLinkCur+dLoadI;
        capVolt=capVolt+doutV;
        if (capVolt<0.0) capVolt=0.0;
        if (dcLinkCur<0.00001) dcLinkCur=0.0;
        if (toggle==0) cur_line=-dcLinkCur;
        else cur_line=dcLinkCur;
        outVolt=cur_line+(vSource-cur_line)*L1/(L1+L2);
        cur_line=capVolt/Res;
        capCur=dcLinkCur-cur_line;
        break;

```



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



```

case 1:
  dLoadI=(0.0-cur_load)/L1*step;
  doutV=(dcLinkCur-capVolt/Res)*step/Cap;
  dcLinkCur=dcLinkCur+dLoadI;
  capVolt=capVolt+doutV;
  if (capVolt<0.0) capVolt=0.0;
  if (dcLinkCur<0.00001) dcLinkCur=0.0;
  dLineI=vInput/L2*step;
  cur_line=cur_line+dLineI;
  if (toggle==1)
  {
    if (cur_line>dcLinkCur) commute=0;
  }
  if (toggle==0)
  {
    if ((cur_line+dcLinkCur)<0.0) commute=0;
  }
  if (dcLinkCur<0.00001) outVolt=capVolt;
  else outVolt=0.0;
  cur_load=capVolt/Res;
  capCur=dcLinkCur-cur_load;
  break;
}
tote_knt+=1.0;
elapsedAng=tote_knt*step;
alpha=tote_knt/4.0;
yes_Entry+=1;
if (yes_Entry==4) produceEntries();
if (yes_Entry==4) yes_Entry=0;
}

```

```

void produceEntries(void)
{
  double negate;
  gcvt(alpha,5,p);
  fprintf(fnew,p);
  fprintf(fnew,"");
  gcvt(vInput,5,p);
  fprintf(fnew,p);
  fprintf(fnew,"");
}

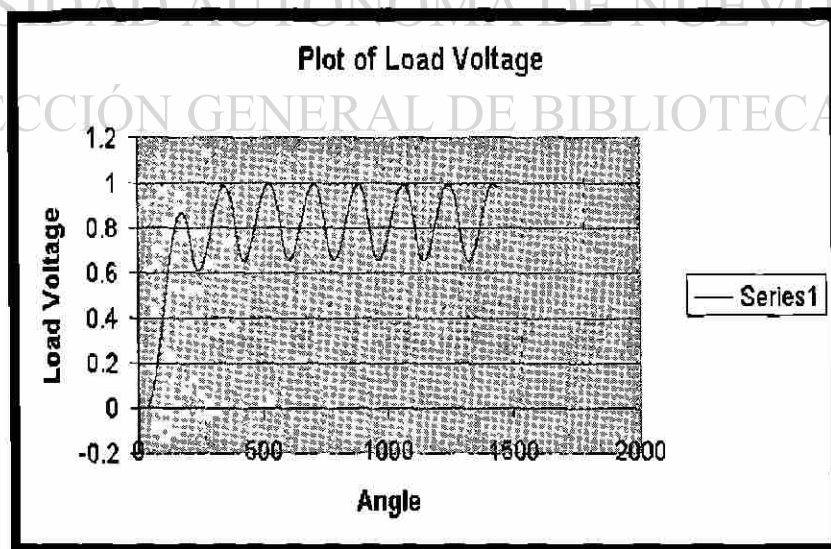
```

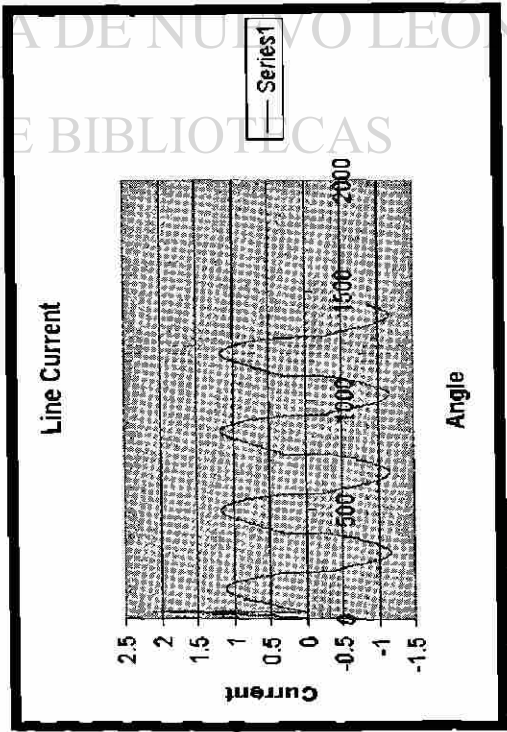
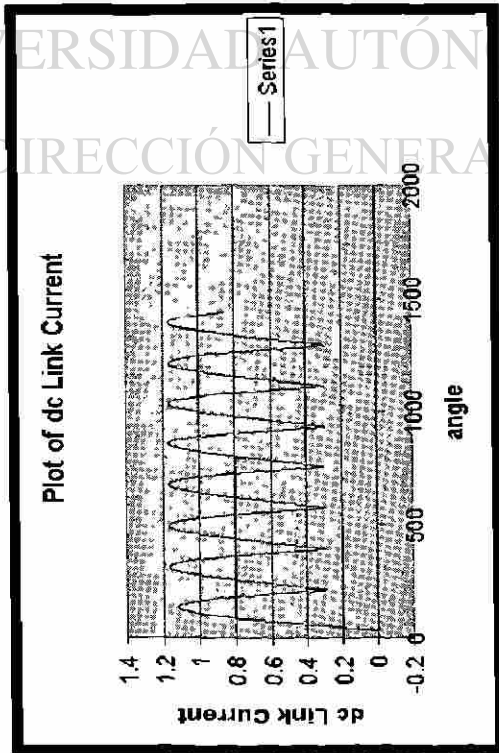
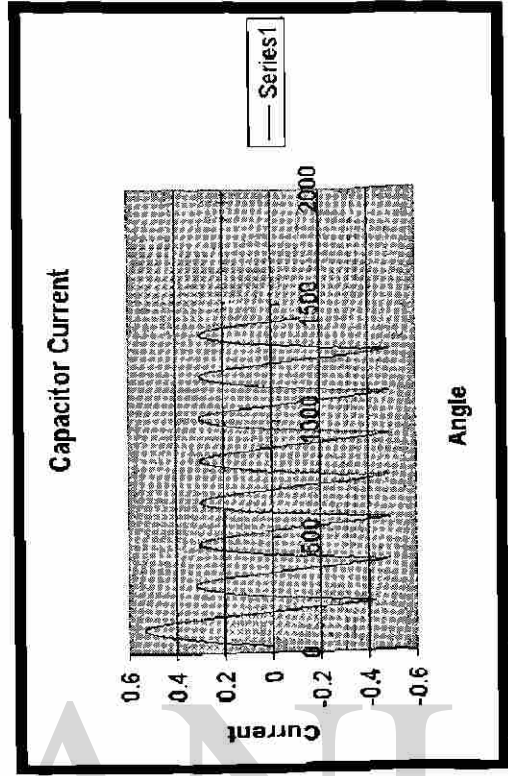
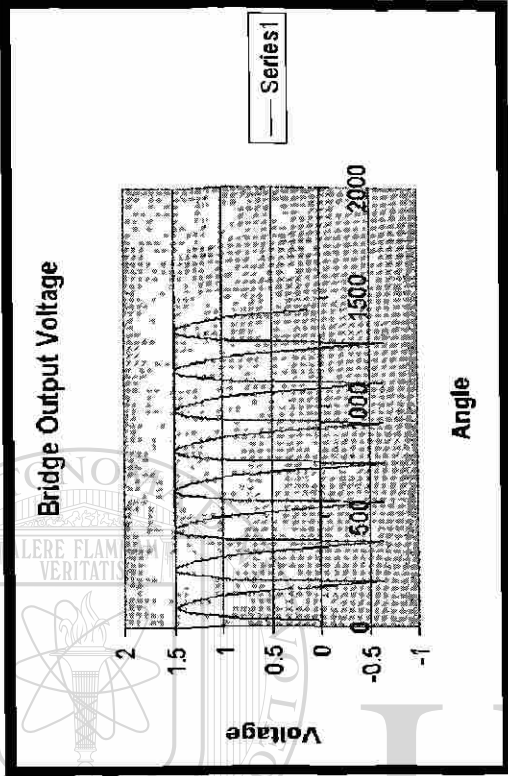
```

gcvt(outVolt,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,"");
gcvt(dcLinkCur,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,"");
gcvt(cur_line,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,"");
if (toggle==0) negate = 1.0; else negate=-1.0;
gcvt(vInput-negate*outVolt,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,"");
gcvt(capVolt,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,"");
gcvt(capCur,5,p);
fprintf(fnew,p);
fprintf(fnew,"\n");
}

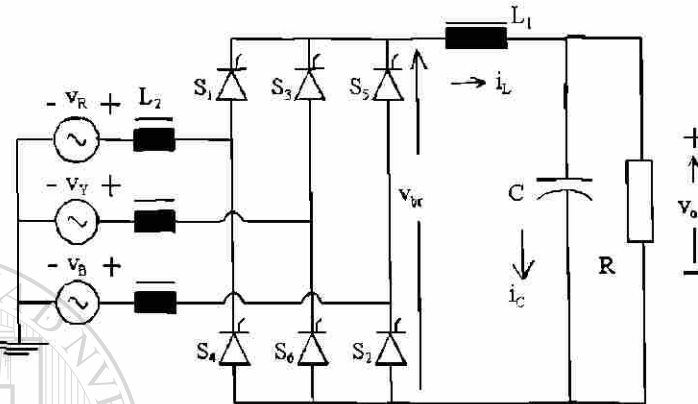
```

Las graficas obtenidas son de acuerdo a los siguientes datos:  $L1=1.0$ ,  $L2=0.1$ ,  $R=1.0$ ,  $C=1.0$  y  $\text{Angulo}=30^\circ$





## PSPICE SIMULATION



El programa utilizado en pspice para simulación es como sigue:

\* Puente rectificador de onda completa con carga RL y fuente inductiva

VIN 9 0 SIN(0 340V 50Hz)

XT1 1 2 5 2 SCR

XT2 0 2 6 2 SCR

XT3 4 0 7 0 SCR

XT4 4 1 8 1 SCR

VP1 5 2 PULSE(0 10 1667U 1N 1N 100U 20M)

VP2 6 2 PULSE(0 10 11667U 1N 1N 100U 20M)

VP3 7 0 PULSE(0 10 1667U 1N 1N 100U 20M)

VP4 8 1 PULSE(0 10 11667U 1N 1N 100U 20M)

L1 2 3 31.8M

L2 1 9 1.6M

R1 3 4 10

C1 3 4 318.5u

R2 1 0 1MEG

R3 2 0 1MEG

R4 4 0 1MEG

\* Sub circuito para SCR

.SUBCKT SCR 101 102 103 102

S1 101 105 106 102 SMOD

RG 103 104 50

VX 104 102 DC 0

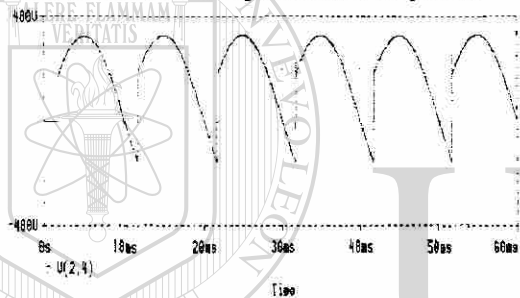
```

VY 105 107 DC 0
DT 107 102 DMOD
RT 106 102 1
CT 106 102 10U
F1 102 106 POLY(2) VX VY 0 50 11
.MODEL SMOD VSWITCH(ROFF=10E+5 VON=0.5 VOFF=0)
.MODEL DMOD D((IS=2.2E-15 BV=1200 TT=0 CJO=0))
.ENDS SCR
.TRAN 10US 60.0MS 0.0MS 10US
.FOUR 50 V(2,4) I(VIN)
.PROBE
.OPTIONS(ABSTOL=1N RELTOL=.01 VNTOL=1MV)
.END

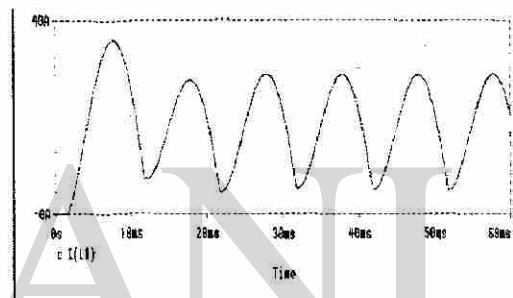
```

Los resultados obtenidos son presentados como siguen:

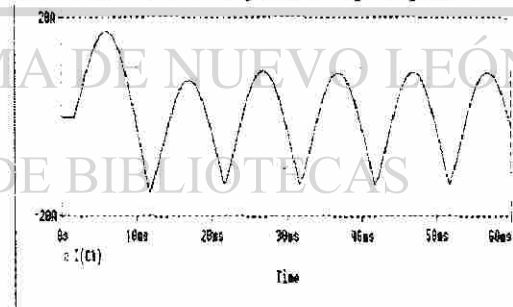
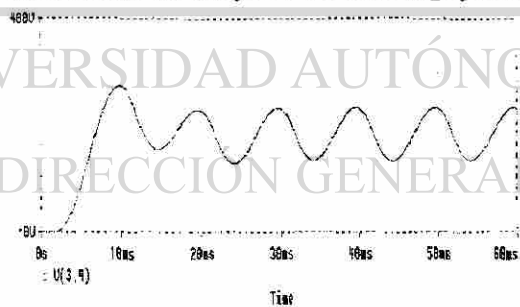
*Forma de onda del voltaje de salida del puente*



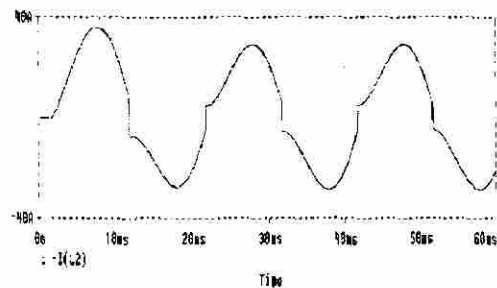
*Forma de onda de la corriente de salida del puente*



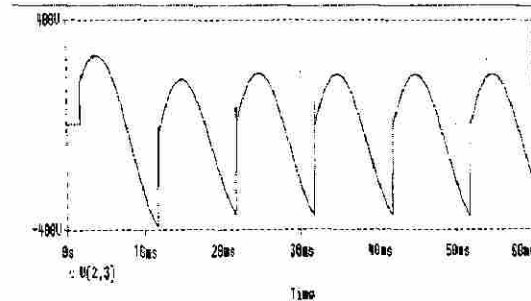
*Forma de onda del voltaje a través de la carga y Forma de onda de la corriente en filtro del tipo capacitivo*



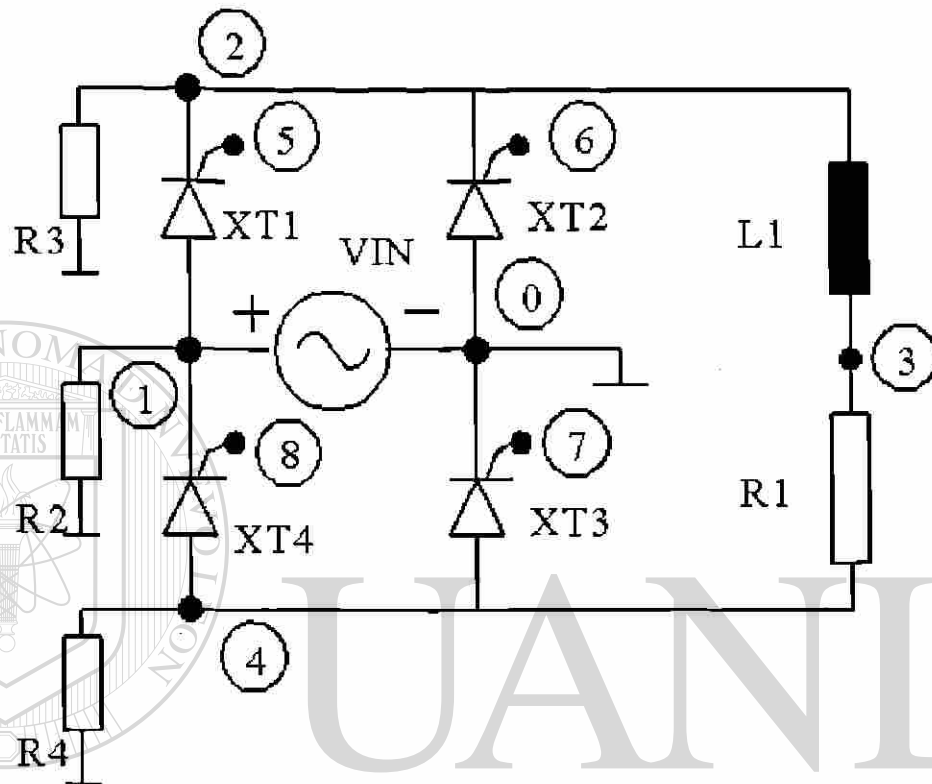
*Forma de onda de corriente de línea*



*Forma de onda del voltaje en el inductor.*



## MATLAB SIMULATION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

El programa utilizado para la simulación es el siguiente:

```
% Programa para simular un circuito rectificador de onda completa
% Simulando un especifico angulo de activacion
% Los datos que hay que introducir son:
% El Voltaje pico en    V
% La Frecuencia en     Hz
% La Inductancia en    mH
% La Resistencia en    Ohms
% Los valres tipicos son: voltaje= 340V, frecuencia= 50Hz,
% Inductancia= 31.8 mH y la resistencia= 10 Ohms
disp('El valor tipico para voltaje pico es 340 V')
peakV=input('Introduzca el valor de voltaje pico en Volts>');
disp('El valor tipico de frecuencia de linea es 50 Hz')
freq=input('Introduzca la frecuencia de linea en Hz>');
disp('El valor tipico para la inductancia de carga es 31.8 mH')
```



```

L=input('Introduzca la inductancia de carga en mH>');
disp('El valor tipico para la resistencia de carga es 10.0 Ohms')
R=input('Introduzca el valor de resistencia de carga en Ohms>');
disp('El valor tipico para el angulo de disparo es 30.0 grados')
fangDeg=input('Introduzca el angulo de disparo con rango entre 0 y 180 >');
fangRad=fangDeg/180.0*pi;

```

```

w=2.0*pi*freq;
X=w*L/1000.0;
if (X<0.001) X=0.001; end;
Z=sqrt(R*R+X*X);
tauInv=R/X;
loadAng=atan(X/R);
k1=peakV/Z;
k2=2.0*k1*sin(loadAng-fangRad)/(1.0-exp(-pi*tauInv));
k3=k1*sin(loadAng-fangRad);
if (fangRad<loadAng)
    A=k2;
    sw=1;
else
    A=k3;
    sw=2;
end;

```

```

Ampavg=0;
AmpRMS=0;

```

```

for n=1:360;
    theta=n/180.0*pi;
    X(n)=n;
    if (sw==1);
        if (n<fangDeg);
            cur=k1*sin(pi+theta-loadAng)+A*exp(-tauInv*(pi+theta-fangRad));
            vbr(n)=peakV*sin(theta+pi);
            vind(n)=vbr(n)-R*cur;
            iLoad(n)=cur;
            vSCR(n)=peakV*sin(theta);
            Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
            AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
        elseif ((n>=fangDeg) & (n<(180+fangDeg)));

```

```

cur=k1*sin(theta-loadAng)+A*exp(-tauInv*(theta-fangRad));
vbr(n)=peakV*sin(theta);
vind(n)=vbr(n)-R*cur;
iLoad(n)=cur;
vSCR(n)=0;
Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
else (n>=(180+fangDeg));
cur=k1*sin(theta-pi-loadAng)+A*exp(-tauInv*(theta-pi-fangRad));
vbr(n)=peakV*sin(theta-pi);
vind(n)=vbr(n)-R*cur;
iLoad(n)=cur;
vSCR(n)=peakV*sin(theta);
Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
end;
else
if (n<fangDeg);
cur=k1*sin(pi+theta-loadAng)+A*exp(-tauInv*(pi+theta-fangRad));
if (cur>0);
vbr(n)=peakV*sin(theta+pi);
vind(n)=vbr(n)-R*cur;
iLoad(n)=cur;
vSCR(n)=peakV*sin(theta);
Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
else;
vbr(n)=0.0;
vind(n)=0.0;
iLoad(n)=0.0;
vSCR(n)=peakV*sin(theta)/2.0;
end;

elseif ((n>=fangDeg) & (n<(180+fangDeg)));
cur=k1*sin(theta-loadAng)+A*exp(-tauInv*(theta-fangRad));
if (cur>0);
vbr(n)=peakV*sin(theta);
vind(n)=vbr(n)-R*cur;
iLoad(n)=cur;

```

```

vSCR(n)=0;
Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
else;
vbr(n)=0.0;
vind(n)=0.0;
iLoad(n)=0.0;
vSCR(n)=peakV*sin(theta)/2.0;
end;

else (n>=(180+fangDeg));
cur=k1*sin(theta-pi-loadAng)+A*exp(-tauInv*(theta-pi-fangRad));
vbr(n)=peakV*sin(theta-pi);
vind(n)=vbr(n)-R*cur;
iLoad(n)=cur;
vSCR(n)=peakV*sin(theta);
Ampavg=Ampavg+cur*1/360;
AmpRMS=AmpRMS+cur*cur*1/360;
end;
end;
end;

```

```

plot(X,iLoad)
title('La corriente de carga')
xlabel('Grados')
ylabel('Amperes')
grid
pause

```

```

plot(X,vbr)
title('Voltaje de salida del puente')
xlabel('Grados')
ylabel('Volts')
grid
pause

```

```

plot(X,vind)
title('Voltaje del inductor')
xlabel('Grados')

```

```

ylabel('Volts')
grid
pause

plot(X,vSCR)
title('SCR Voltage')
xlabel('Grados')
ylabel('Volts')
grid

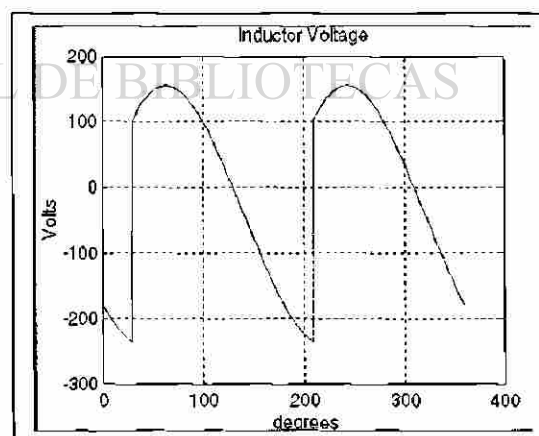
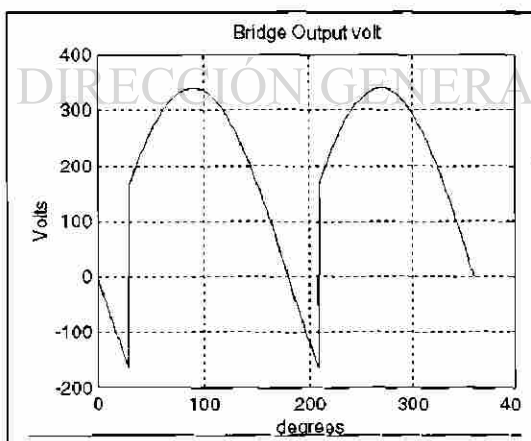
```

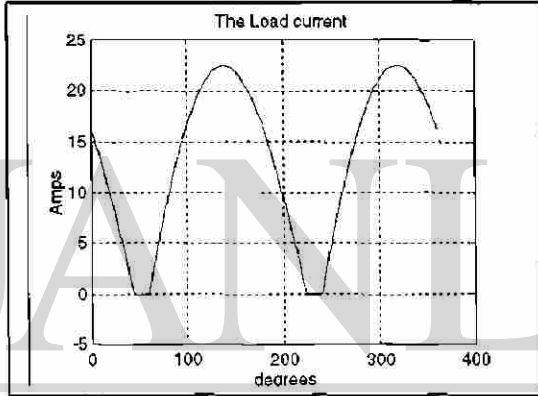
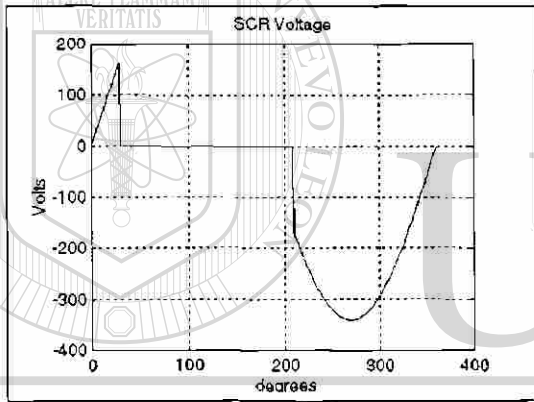
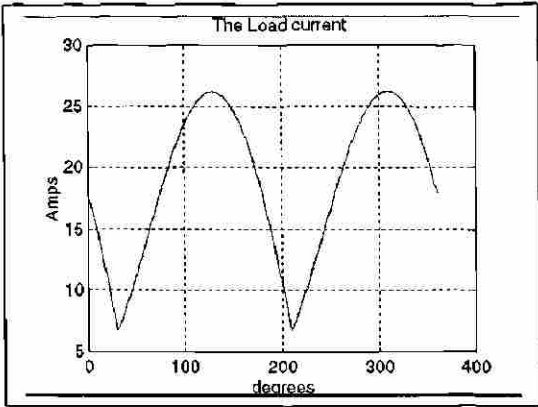
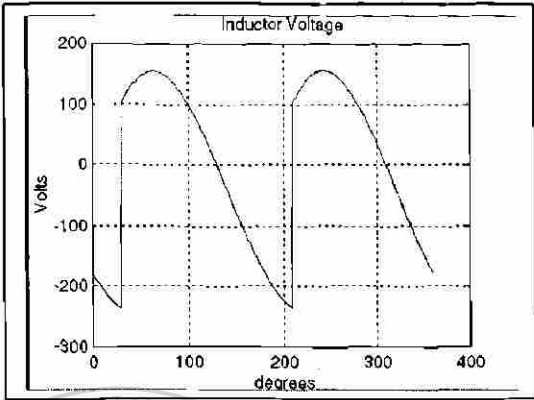
```

AmpRMS=sqrt(AmpRMS);
[C,message]=fopen('fwr11ph1.dat','w');
fprintf(C,'Avg Load Cur=\t%d\tRMS Load
Cur=\t%f\n',Ampavg,AmpRMS);
fclose(C);

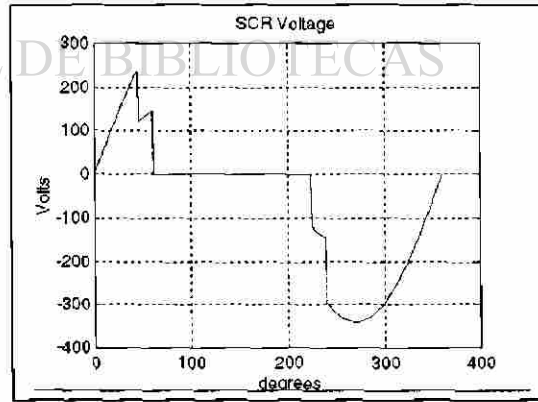
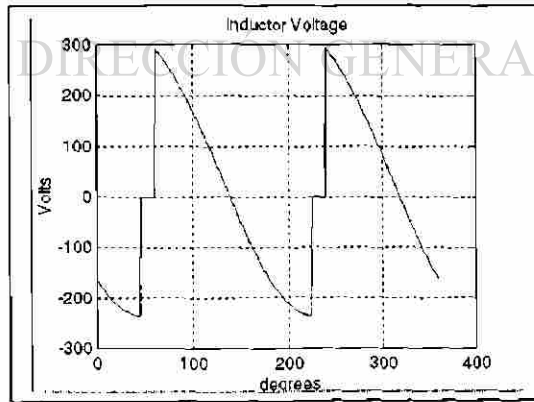
```

Las respuestas obtenidas por los valores típicos aplicados a continuación se muestran:





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS

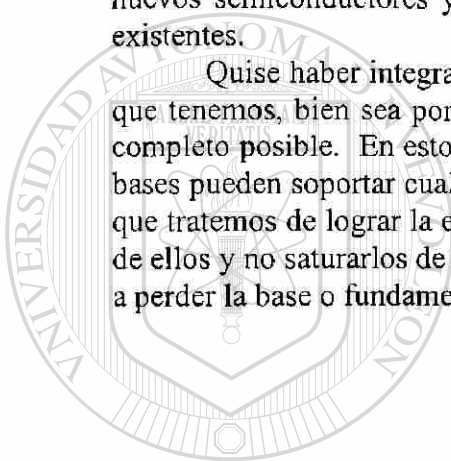


Los resultados obtenidos por un ángulo de 60grados se muestran a continuación. Los otros valores son iguales como los previamente aplicados. Cuando el ángulo de activación se retrasa mucho, la corriente de la carga es discontinua.

## CONCLUSIONES

Conforme se buscó información, se localizó una gran cantidad de ésta para cada una de las áreas buscadas. El incremento en el número de aplicaciones en las áreas en las que anteriormente no tenía acceso la Electrónica Industrial y/o de Potencia actualmente es muy considerable gracias a los grandes avances tecnológicos en el desarrollo de los nuevos semiconductores y de la gran cantidad de mejoras que se han hecho a los ya existentes.

Quise haber integrado toda la información obtenida, pero ésta es una de las fallas que tenemos, bien sea porque queremos actualizar nuestro curso o bien hacerlo lo más completo posible. En esto me hizo reflexionar mi asesor, a lo que me dijo: unas buenas bases pueden soportar cualquier cambio tecnológico que se avecine o que llegue. Así es que tratemos de lograr la empatía con nuestros estudiantes, para comprender la situación de ellos y no saturarlos de información demasiado reciente o tan detallada que lleguemos a perder la base o fundamento de nuestro curso.



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

## RECOMENDACIONES

Unas de las recomendaciones que me permito hacer son las siguientes:

Debido al cambio que se aproxima referente a la impartición de la cátedra, al disminuir las sesiones semanales de cinco a tres y el cubrir un programa más ambicioso por los mismos cambios en tecnologías, considero necesario que se disponga de **salones de clase dedicados** y **equipados** para la impartición de estas clases y así disponer de un **mismo material** para todos los catedráticos.

A **salones de clase dedicados** me refiero a que sólo se imparta estas cátedras, la razón es de que existen una gran cantidad de grupos que justifican su inversión y el hecho de que sean dedicados.

A **equipados** me refiero al hecho de que se cuente con todo lo necesario, para la impartición de cátedra de buen nivel y no tener que perder buena parte de la hora de clase en andar solicitando o buscando el material necesario. El equipo mínimo necesario que considero es el siguiente:

1. Computadora equipada
2. Proyector de cañón
3. Vídeo casetera
4. Televisión de 30" mínimo
5. Proyector de acetatos
6. Pantalla antireflejante
7. Reproductor de DVD
8. Puerto de comunicación para red

A **un mismo material** nos referimos a que se cuente con los mismos problemas, videos, presentaciones, acetatos, preguntas, respaldo bibliográfico, revistas de actualidad, suscripciones, y otros materiales más que se vayan integrando al material disponible.

## BIBLIOGRAFÍA

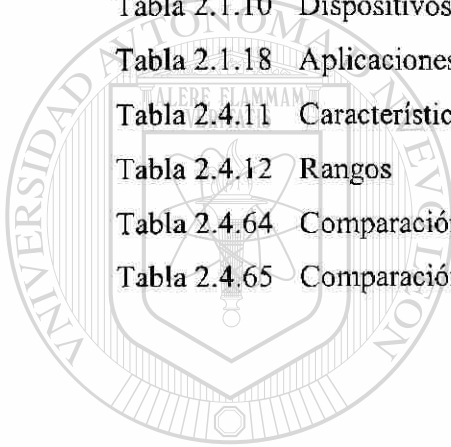
- |                                                                                                                                          | Año Edición |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tiristores y Triacs<br>Henry Lilen<br>Alfa-Omega Marcombo Boixareu Editores                                                              | 1995        |
| Electrónica Industrial Moderna<br>Timothy J. Maloney<br>Prentice Hall Inc.                                                               | 1997        |
| Electrónica de Potencia Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones<br>Muhammad H. Rashid<br>Prentice Hall Inc.                               | 1995        |
| Introduction to Solid State Power Electronics<br>John William Motto Jr.<br>Westinghouse Electric Corporation Semiconductor Division.     | 1987        |
| Motorola Thyristors Data<br>Semiconductor Division<br>Motorola                                                                           | 1997        |
| Thyristors Product Catalog<br>Teccor Electronics<br>A Sibe Group Company                                                                 | 1999        |
| Adjustable Speed Drives AC y DC<br>Electronics Drives<br>Danfoss                                                                         | 1997        |
| Fundamentals of Power Electronics<br>R.W. Erickson<br>Chapman and Hall<br>fué adquirida por<br><u>Kluwer Academic Publishers en 1998</u> | 1996        |
| Integrated Solid State Devices and Circuits<br>Syllabus<br>Prentice Hall                                                                 | 1999        |



## LISTA DE TABLAS

### CAPITULO 2

	<b>Página</b>
Tabla 2.1.10 Dispositivos de Potencia	12
Tabla 2.1.18 Aplicaciones de dispositivos de potencia	15
Tabla 2.4.11 Características	43
Tabla 2.4.12 Rangos	43
Tabla 2.4.64 Comparación uno	52
Tabla 2.4.65 Comparación dos	52



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO 2

	<b>Página</b>
Figura 2.1.1 Historia de la electrónica de Potencia	10
Figura 2.1.2 Tipo de SCR	10
Figura 2.1.3 Tipo de SCR de Potencia	10
Figura 2.1.4 Otros Tipos	11
Figura 2.1.5 Dimensiones 1	11
Figura 2.1.6 Dimensiones 2	11
Figura 2.1.7 Dimensiones 3	11
Figura 2.1.8 Dimensiones 4	11
Figura 2.1.9 Dimensiones 5	11
Figura 2.1.11 Transistor	12
Figura 2.1.12 Dispositivos SITH, GTO, MCT, Disparo de Compuerta	12
Figura 2.1.13 TRIAC	13
Figura 2.1.14 LASCR	13
Figura 2.1.15 NPN BJT	13
Figura 2.1.16 Tiristor , LASCR	13
Figura 2.1.17 Clasificación de elementos de potencia	14
Figura 2.1.19 Aplicación 1	16
Figura 2.1.20 Aplicación 2	16
Figura 2.1.21 Aplicación 3	16
Figura 2.1.22 Aplicación 4	16
Figura 2.1.23 Forma onda	17

**Página**

Figura 2.1.24	Aplicación 5	17
Figura 2.1.25	Diagrama a bloques para el convertidor de potencia	18
Figura 2.2.1	Símbolo diodo	19
Figura 2.2.2	Característica $v - i$ del diodo	19
Figura 2.2.3	Polarización directa de un diodo	20
Figura 2.2.4	Diodos de potencia	20
Figura 2.2.5	Forma de onda típica de switcheo del diodo	20
Figura 2.2.6	Tipos de diodos de potencia Diodo schottky	20
Figura 2.2.7	Características de algunos diodos rectificadores	20
Figura 2.2.8	Inspección a los dispositivos semiconductores de potencia	20
Figura 2.2.9	Tipo recuperación	21
Figura 2.2.10	Protección 1	21
Figura 2.2.11	Protección 2	21
Figura 2.2.12	Forma onda a)	21
Figura 2.2.13	Forma onda b)	21
Figura 2.2.14	Diodo serie	24
Figura 2.2.15	Diodos serie, con R	24
Figura 2.2.16	Característica de diodos en serie	25
Figura 2.2.17	Diodos en serie con distribución de voltaje	26
Figura 2.2.18	Diodos en paralelo	26
Figura 2.3.1	Diodo con carga RL	27
Figura 2.3.2	Curva típica RL	27
Figura 2.3.3	Diodo con carga RC	27
Figura 2.3.4	Curva típica RC	27
Figura 2.3.5	Descarga de RC	28
Figura 2.3.6	Curva de 2.3.5	28
Figura 2.3.7	Diodo con carga LC	28
Figura 2.3.8	Curva típica LC	28
Figura 2.3.9	Diodo con RLC	28

	<b>Página</b>
Figura 2.3.10 Problema ejemplo 1	30
Figura 2.3.11 Problema ejemplo 1	31
Figura 2.3.12 Problema ejemplo 1	31
Figura 2.3.13 Problema ejemplo 1	32
Figura 2.3.14 Problema ejemplo 1	32
Figura 2.3.15 circuito con diodo marcha libre	33
Figura 2.3.16 Curvas de 2.3.15	33
Figura 2.3.17 Problema ejemplo 2	33
Figura 2.3.18 Curvas típicas	33
Figura 2.3.19 Circuito con CA	34
Figura 2.3.20 Curvas de 2.3.19	34
Figura 2.3.21 Circuito de CA y R	34
Figura 2.3.22 Curvas	34
Figura 2.3.23 Curvas de corriente	34
Figura 2.3.24 Rectificado onda completa	36
Figura 2.3.25 Rectificado multifase	37
Figura 2.3.26 Filtro CD	38
Figura 2.3.27 Filtro CA	39
Figura 2.3.28 Circuito trifásico	39
Figura 2.3.29 Curva	39
Figura 2.3.30 Rectificador puente trifásico	40
Figura 2.4.1 G-K	41
Figura 2.4.2 A-K	41
Figura 2.4.3 Símbolo tiristores	42
Figura 2.4.4 Elemento	42
Figura 2.4.5 A-K V-I	42
Figura 2.4.6 A-K V-T	42
Figura 2.4.7 Activado SCR	42

	<b>Página</b>
Figura 2.4.8 Curvas activado	42
Figura 2.4.9 Activado GTO	42
Figura 2.4.10 Curvas activado	42
Figura 2.4.13 $I_{GT}$ activado	43
Figura 2.4.14 $I_H$ Sostenimiento	43
Figura 2.4.15 $I_L$ Enclavamiento	44
Figura 2.4.16 $V_{GT}$ Activado	44
Figura 2.4.17 Foto SCR	44
Figura 2.4.18 Foto Triac	44
Figura 2.4.19 Circuito R	44
Figura 2.4.20 Circuito RC	44
Figura 2.4.21 Circuito RL	44
Figura 2.4.22 Circuito RLC	44
Figura 2.4.23 Típicos	45
Figura 2.4.24 Pulso corto de un SCR	45
Figura 2.4.25 Pulso largo de un SCR	45
Figura 2.4.26 Generador de tren de pulsos de un SCR	45
Figura 2.4.27 Tren de pulsos con mecanismo de tiempo y lógica AND	45
Figura 2.4.28 Activación y V-I	46
Figura 2.4.29 Activación D1 y D2	46
Figura 2.4.30 SCR en serie	46
Figura 2.4.31 SCR en paralelo	46
Figura 2.4.32 Curvas recuperación	46
Figura 2.4.33 SCR en Paralelo con protección	46
Figura 2.4.34 Protección C	47
Figura 2.4.35 Protección RC	47
Figura 2.4.36 Protección Ds RC	47

	<b>Página</b>
Figura 2.4.37 Protección $D_s$ RCL	47
Figura 2.4.38 Curvas de protección	47
Figura 2.4.39 Curvas de protección	47
Figura 2.4.40 Tiristores SCR	48
Figura 2.4.41 Porque los convencionales SCR no pueden ser apagados	48
Figura 2.4.42 El tiristor operado por compuerta GTO	48
Figura 2.4.43 Los tiristores controlados MCT	48
Figura 2.4.44 Símbolo MCT	48
Figura 2.4.45 Esquemático MCT	48
Figura 2.4.46 Resumen de tiristores	49
Figura 2.4.47 El circuito equivalente de MCT	49
Figura 2.4.48 Activación GTO	49
Figura 2.4.49 Curva de GTO	49
Figura 2.4.50 Típico de activación	50
Figura 2.4.51 Símbolo UJT	50
Figura 2.4.52 Circuito UJT	50
Figura 2.4.53 Aplicación UJT	50
Figura 2.4.54 Curva típica UJT	50
Figura 2.4.55 Curva típica	50
Figura 2.4.56 Símbolo PUT	50
Figura 2.4.57 Circuito equivalente	50
Figura 2.4.58 Circuito para pruebas	51
Figura 2.4.59 Circuito para pruebas 2	51
Figura 2.4.60 Oscilador PUT	51
Figura 2.4.61 Aplicación	51
Figura 2.4.62 Curva	51
Figura 2.4.63 Configuración con carga	51
Figura 2.5.1 Convertidor	53

	<b>Página</b>
Figura 2.5.2 Grafica un cuadrante	53
Figura 2.5.3 Convertidor de un cuadrante	54
Figura 2.5.4 Convertidor de dos cuadrante	54
Figura 2.5.5 Curvas típicas	54
Figura 2.5.6 Convertidor de dos cuadrante	54
Figura 2.5.7 Curvas	54
Figura 2.5.8 Grafica dos cuadrante	54
Figura 2.5.9 Convertidor cuatro cuadrantes	55
Figura 2.5.10 Grafica cuatro cuadrantes	55
Figura 2.5.11 Curvas 4 cuadrantes	55
Figura 2.5.12 Serie un cuadrantes	55
Figura 2.5.13 Serie 2 cuadrantes	55
Figura 2.5.14 Trifásico ½ onda un cuadrante	55
Figura 2.5.15 Trifásico onda completa un cuadrante	55
Figura 2.5.16 Curvas trifásico 2 cuadrantes	56
Figura 2.5.17 Curvas trifásico un cuadrante	56
Figura 2.5.18 Convertidor Dual trifásico	56
Figura 2.5.19 Curvas dual	56
Figura 2.5.20 Monofásico un cuadrante	57
Figura 2.5.21 Curvas un cuadrante	57
Figura 2.5.22 Monofásico Dos cuadrantes	58
Figura 2.5.23 Curvas dos cuadrantes	58
Figura 2.5.24 Mejoras al FP	58
Figura 2.5.25 Mejoras al FP 2	58
Figura 2.5.26 Control senoidal	59
Figura 2.6.1 El <b>MOSFET</b>	60
Figura 2.6.2 No activado	60
Figura 2.6.3 Activado	60

	<b>Página</b>
Figura 2.6.4 Mosfet con diodo	60
Figura 2.6.5 Curvas características	60
Figura 2.6.6 Equivalente	60
Figura 2.6.7 Listado	61
Figura 2.6.8 Conclusiones	61
Figura 2.6.9 BJT	61
Figura 2.6.10 Curvas I y V	61
Figura 2.6.11 Formas de onda	61
Figura 2.6.12 Análisis	61
Figura 2.6.13 Curvas características	61
Figura 2.6.14 V quiebre	61
Figura 2.6.15 BJT darlington	62
Figura 2.6.16 Conclusiones	62
Figura 2.6.17 El IGBT	62
Figura 2.6.18 Símbolo	62
Figura 2.6.19 Curva I	62
Figura 2.6.20 Listado	62
Figura 2.6.21 Conclusiones	62
Figura 2.6.22 Switch	63
Figura 2.6.23 Pulsador	63
Figura 2.6.24 Un cuadrante	63
Figura 2.6.25 Comentarios	63
Figura 2.6.26 Gráficos típicos	63
Figura 2.6.27 BJT e IGBT	63
Figura 2.6.28 I +- dos cuadrantes	64
Figura 2.6.29 MOSFET	64
Figura 2.6.30 Símbolo	64
Figura 2.6.31 Circuito	64



	<b>Página</b>
Figura 2.6.32 Switch dos cuadrantes	64
Figura 2.6.33 Grafica dos cuadrantes	64
Figura 2.6.34 Switch de 4 cuadrantes	64
Figura 2.6.35 Configuraciones	64
Figura 2.6.36 Tipos de rectificador	65
Figura 2.6.37 Circuito	65



### CAPITULO 3

	<b>Página</b>
Figura 3.1.1 Interruptor CD	66
Figura 3.1.2 Interruptor con carga R	66
Figura 3.1.3 Interruptor con GTO	66
Figura 3.1.4 Interruptor opto aislado	66
Figura 3.1.5 Aislamiento con relevador de lengüeta	66
Figura 3.1.6 Aislamiento con relevador de compuerta	66
Figura 3.1.7 Aislamiento por transformador	67
Figura 3.1.8 Aislamiento por acoplamiento óptico	67
Figura 3.2.1 Control de velocidad	67
Figura 3.2.2 Control de velocidad 4 cuadrantes	67
Figura 3.2.3 Tipo de conexión motor de CD	67
Figura 3.2.4 Control por diodos o SCR	68
Figura 3.2.5 Grafica de operación	68
Figura 3.3.1 Convertidor Fly-back	68
Figura 3.3.2 Fly-back con bobina	68
Figura 3.3.3 Convertidor Push-pull	69

**Página**

Figura 3.3.4	Convertidor medio puente	69
Figura 3.3.5	Convertidor puente completo	69
Figura 3.3.6	Convertidor medio puente	69
Figura 3.3.7	Inversor puente completo	69
Figura 3.4.1	Circuito de motor	70
Figura 3.4.2	Curva	70
Figura 3.4.3	Controlador de motor de CA	70
Figura 3.4.4	Curva	70
Figura 3.4.5	Curva de frecuencia	70
Figura 3.4.6	Controlador de motor de CA	70
Figura 3.4.7	Curva par	70
Figura P2.3.1	Figura de Problema	101
Figura P2.3.2	Figura de Problema	102
Figura P2.3.3	Figura de Problema	103
Figura P2.3.4	Figura de Problema	104
Figura P2.3.6	Figura de Problema	105
Figura P2.3.6b	Figura de Problema	106
Figura P2.3.6c	Figura de Problema	106
Figura P2.3.6d	Figura de Problema	107
Figura P2.3.6e	Figura de Problema	107
Figura P2.3.7	Figura de Problema	108
Figura P2.3.8	Figura de Problema	109
Figura P2.3.15	Figura de Problema	113
Figura P2.3.17	Figura de Problema	115
Figura P2.3.19	Figura de Problema	117
Figura P2.3.20	Figura de Problema	119
Figura P2.3.21	Figura de Problema	120
Figura P2.3.23	Figura de Problema	122
Figura P2.3.24	Figura de Problema	123
Figura P2.3.25	Figura de Problema	124

	<b>Página</b>
Figura P2.3.26 Figura de Problema	125
Figura P2.3.27 Figura de Problema	126
Figura P2.3.27a Figura de Problema	126
Figura P2.3.28 Figura de Problema	127
Figura P2.3.29 Figura de Problema	128
Figura P2.3.30 Figura de Problema	129
Figura P2.3.31 Figura de Problema	130
Figura P2.3.32 Figura de Problema	131
Figura P2.3.33 Figura de Problema	132
Figura P2.3.34 Figura de Problema	132
Figura P2.3.35 Figura de Problema	134
Figura P2.4.3 Figura de Problema	136
Figura P2.4.4 Figura de Problema	137
Figura P2.4.6 Figura de Problema	139
Figura P2.4.9 Figura de Problema	142
Figura P2.4.10 Figura de Problema	143
Figura P2.4.11 Figura de Problema	144
Figura P2.4.12 Figura de Problema	145
Figura P2.4.13 Figura de Problema	146
Figura P2.4.14 Figura de Problema	147

## RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Nombre: Antonio Rodríguez García

Nombre de los padres: Juan Rodríguez Cazares  
Socorro García López

Lugar y fecha de nacimiento: Monterrey, N.L.  
16 de Julio de 1954

Grado de escolaridad: Ing. en Control e Instrumentación  
Universidad Mexicana del Noreste

Campo profesional: **De 1990 - Actual** Catedrático de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, impartiendo clases de: Electrónica Industrial, Electrónica de Potencia e Instrumentación Digital.  
Laboratorios de: E. Industrial, E de Potencia, Instrumentación Analógica e Instrumentación Digital.

**De 1982 - Actual** Catedrático en el Instituto Tecnológico de Nuevo León impartiendo clases de Instrumentación Analógica, Instrumentación Digital e Instrumentación Analítica así como sus respectivos laboratorios.

**De 1988 a 1988** Ingeniería de ventas, Honeywell S.A.

**De 1981 a 1986** Ingeniería de Ventas, en Foxboro S.A.

**De 1980 a 1980** Ingeniería de Ventas, en Schultz del Norte

**De 1977 a 1979** Instrumentista, en Fundidora Monterrey, S.A.

**De 1972 a 1977** Instrumentista, Industrias del Alcalí S.A.

Grado que deseo obtener: **Maestro en ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Control.**

Nombre de la tesis: **Diseño de material didáctico para Electrónica Industrial y de Potencia**

